Sitzungsberichte und Abhandlungen

der

naturforschenden Gesellschaft

zu Rostock.

Neue Folge – Band V.

Mit 25 Tafeln.

Im Auftrage der Gesellschaft herausgegeben von

Professor Ludwig Will.

Smithsonian Institution,
JUL 15 1914
229212
National Museum

Rostock 1913.
Kommissionsverlag von H. Warkentien.

Für die Naturforschende Gesellschaft zu Rostock bestimmte Büchersendungen werden erbeten:

An

den Sekretär der Naturforschenden Gesellschaft

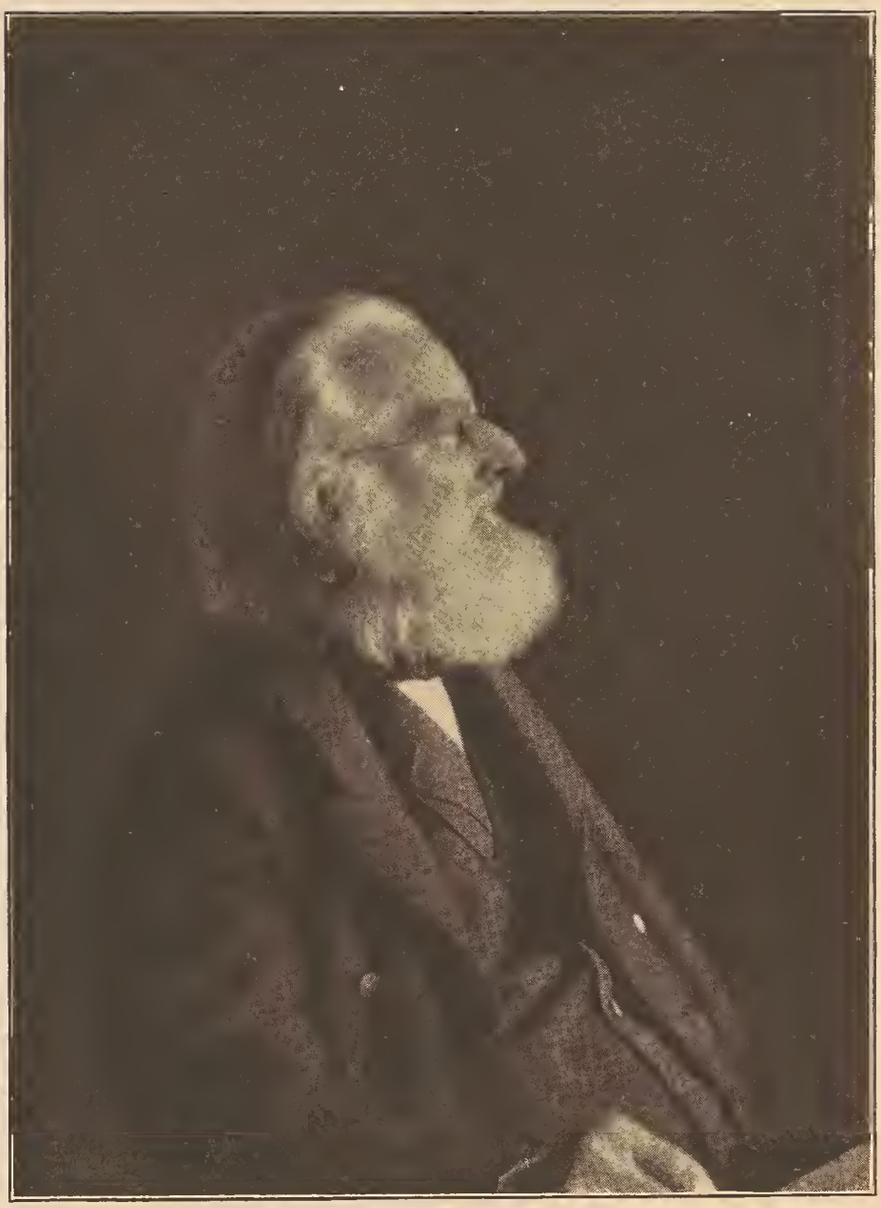
Herrn

Professor Dr. L. Will

Rostock i./M.

Manuskripte für diese Zeitschrift, einseitig beschrieben, nimmt der Herausgeber entgegen. Bei Anfertigung der Zeichnungen für Textfiguren oder Tafeln empfiehlt sich eine Ausführung, die für ein photographisches Verfahren (Zinkätzung, Autotypie, Lichtdruck) geeignet ist. Mit Rücksicht hierauf ist die Anwendung von Tusche, sowie speziell für die Zinkätzung die Strich- resp. Punktmanier dringend anzuraten. Tiefschwarze Linien resp. Punkte sichern eine klare Wiedergabe. Dagegen sind Buchstaben nur vorläufig mit Blei einzutragen. Vorteilhaft ist es ferner, alle Originalzeichnungen in etwas grösserem Massstabe zu halten, da die Zeichnungen durch Verkleinerung bei der Reproduktion an Schärfe gewinnen.

Die meisten der in dieser Zeitschrift enthaltenen Arbeiten sind beim Verleger auch einzeln käuflich.



A. Raddatz.

Sitzungsberichte und Abhandlungen
der naturforschenden Gesellschaft zu Rostock.

Sitzungsberichte und Abhandlungen

der

naturforschenden Gesellschaft

zu Rostock.

Neue Folge. — Band V.

Mit 25 Tafeln.

Im Auftrage der Gesellschaft herausgegeben von

Professor Ludwig Will.

Smithsonian Institution,
JUL 15 1914
National Museum.

Rostock 1913.
Kommissionsverlag von H. Warkentien.

Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Arbeiten allein verantwortlich.

Inhalt.

Adolf Raddatz, ein Nachruf.

I. Sitzungsberichte:

		Seite
Walter, F. K.: Eine neue elektive Nervenfärbung	I,	1
Walter, F. K.: Ueber den histologischen Bau der Zirbeldrüse	„	3
Ule, W.: Das brasilianische Bergland	„	7
Fischer, J.: Gibt es spezifische, mit dem Abderhaldenschen Dialysierverfahren nachweisbare Schutzfermente im Blutserum Geisteskranker?	„	11
Josephy, H.: Ueber Anophthalmie beim Hühnchen	„	25
Will, L.: Der Einfluss des Hungers auf die Hydroiden und seine kausale Beziehung zum Polymorphismus. Mit Tafel 23	„	33
Will, L.: Acaulis primarius Stimps. Ein neuer Ostseebewohner. Mit Tafel 24	„	57
Michaelis, A.: Neuere Untersuchungen über das Chlorophyll	„	63
Kobert, R.: Ueber zwei bisher unbekannte Bestandteile der Zuckerrübe und einiger verwandter Chenopodiaceen	„	89
Sitzungsprotokolle	„	95
Tauschverkehr der Gesellschaft	„	99
Mitgliederverzeichnis	„	109

II. Abhandlungen:

Staude, O.: Die Rotationsflächen der kubischen Kegelschnitte. Mit Tafel 1 und 2	II,	1
Lübben, C.: Dispersion und Dissoziationsgrad wässeriger Metallsalzlösungen im Ultravioletten. Mit 4 Textfiguren und 15 Tabellen	„	27
Heydweiller, A.: Einige optische Ionenkonstanten	„	53
Disqué, L.: Beiträge zur Kenntnis der Bestandteile und Wirkungen des Rhizoms von Podophyllum. Mit Tafel 3—5	„	63

Seite

Grufki, K.: Ueber die Dispersion wässeriger Salzlösungen im sichtbaren Spektrum. Mit Tafel 6 ..... II, 99

Hessel, E.: Beiträge zur Kenntnis der Bestandteile und Wirkungen der Strophanthusdrogen ..... „ 137

Weber, R. H.: Ueber die magnetische Energie von Elektro- und Stahlmagneten und über den wahren Magnetismus ..... „ 181

Bovermann, H.: Experimentelle Erzeugung teratoider Geschwülste bei der weissen Maus ..... „ 189

Schwalbe, G.: Das Klima von Mecklenburg auf Grund neuerer Untersuchungen. Mit Tafel 7—12 ..... „ 211

Hanser, R.: Ueber Krebstheorien ..... „ 225

Harms, Fr.: Die Transfiguration ebener Kurven von rechtwinkligen cartesischen auf A-Normalen- und A-Strahlbüschel-Koordinaten. Mit Tafel 13—20 ..... „ 251

Reich, M.: Ueber den mikrochemischen Saponin-Nachweis. Mit Tafel 21 und 22 ..... „ 321

Verhein, A.: Die Eibildung der Musciden. Vorläufige Mitteilung ..... „ 329

Adolf Raddatz.

Am 2. Februar 1913 starb zu Rostock im Alter von 91 Jahren Adolf Raddatz, langjähriger Direktor der von ihm ins Leben gerufenen höheren Bürgerschule, jetzigen Realschule daselbst.

In ihm verlor unsere Gesellschaft ihr ältestes und zugleich eines ihrer treuesten Mitglieder, die Wissenschaft einen eifrigen Forscher.

Obwohl von Hause aus Theologe, gehörte doch seine ganze Liebe der Naturwissenschaft, der er bis in sein spätestes Alter treu blieb. Von früher Jugend an wandte sich sein Interesse ganz besonders den Insekten zu, die ihn vorzugsweise in ihren biologischen Beziehungen interessierten. Ein Vortrag, den er innerhalb unserer Gesellschaft bei einer festlichen Gelegenheit über Stechfliegen und Stechmücken in Mecklenburg hielt, legte Zeugnis ab von der hervorragenden Liebe und Befähigung, mit welcher Raddatz die Beziehungen seiner Studienobjekte zur Umwelt aufzuklären wusste.

Mit diesen biologischen Studien verband er eine eifrige Sammlertätigkeit, deren Frucht reiche Sammlungen aus allen Gebieten der Insekten sind. Ganz besonders erfreute sich Raddatz eines bedeutenden Rufes als einer der besten Dipterenkenner. Seine diesbezüglichen Studien sind z. T. in einer grösseren Schrift „Uebersicht der in Mecklenburg bis jetzt beobachteten Fliegen (Diptera)“ im Archiv der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg 1873 niedergelegt, finden aber ihren vollkommensten Ausdruck erst in seiner hinterlassenen, 42 Kästen umfassenden Dipteren-Sammlung. Andere Publikationen betreffen die Hemipteren: „Uebersicht der in Mecklenburg bis jetzt beobachteten Wanzen“ und „Uebersicht der in Mecklenburg bis jetzt beobachteten Zikaden“, beide im Archiv der Freunde der Naturgeschichte in

Mecklenburg 1874 niedergelegt. Kleinere Mitteilungen entomologischen Inhalts finden sich in der Stettiner entomologischen Zeitung.

Der Hauptwert von Raddatz' Lebensarbeit liegt in den mit unendlichem Fleiss zusammengetragenen Sammlungen, die ausser den schon erwähnten Dipteren die Othopteren, Hemipteren, Coleopteren und Hymenopteren umfassen. Alle diese Sammlungen sind besonders für unsere engere Heimat deshalb von einem unschätzbaren Werte, weil sie namentlich in ihren die Dipteren, Orthopteren und Hemipteren enthaltenden Abteilungen die einzigen sind, welche über unsere mecklenburgische Fauna Auskunft geben. Die umfangreiche Hymenopteren-Sammlung harrt noch ihrer Bearbeitung, zu der sich in Anbetracht ihres grossen Wertes einer unserer bedeutendsten Hymenopterenkenner, Dr. Heinrich Friese-Schwerin, erboten hat.

In den Jahren seiner körperlichen Rüstigkeit war Raddatz einer der regelmässigsten Besucher unserer Sitzungen; eine hervorragende persönliche Liebenswürdigkeit und ein goldener Humor machten ihn zu einem der beliebtesten Mitglieder, seine stete Hülfsbereitschaft zu einem Förderer manches jüngeren Zoologen auf entomologischem Gebiet. Wenn er auch in den letzten Jahren infolge seines hohen Alters die Sitzungen der Gesellschaft nicht mehr besuchen konnte, so hat er ihr doch noch bis zuletzt sein lebhaftes Interesse entgegengebracht und dies insbesondere dadurch bekundet, dass er der naturforschenden Gesellschaft seine ganzen Sammlungen vermacht hat. Dieselben haben im zoologischen Institut der Universität ihre Aufstellung gefunden, so dass damit für ihre gute Erhaltung gesorgt ist. Möge sich noch mancher Jünger der Naturwissenschaft Rat und Förderung seiner Studien aus ihnen holen und damit die Ziele fördern, die dem Schöpfer der Sammlungen bei ihrer Stiftung vorgeschwebt haben!

L. Will.

I. Sitzungsberichte.

[Aus der psychiatrischen Klinik in Rostock.]

Eine neue elektive Nervenfärbung.

Von

Friedrich Karl Walter-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 15. Februar 1913.

Seit einigen Jahren habe ich Versuche gemacht, die Nervenfasern (Axenzylinder) elektiv im Schnittpräparat darzustellen. Dieselben ergaben sowohl am peripheren wie am centralen Nervensystem recht befriedigende Resultate.

Die Methode gestaltet sich kurz folgendermassen.

Fixierung der Objekte in Formol 10 % oder Alkohol 96 %.

Einbetten der Blöcke in Paraffin und Entparaffinisieren der mit Eiweissglycerin aufgeklebten Schnitte.

Die Objektträger kommen aus dem destillierten Wasser in eine 1,5—2,0 % Lösung von Protarpol bei 35—40° auf 1—3 Tage, werden dann kurz in Aqua destillata abgespült und in einer Lösung von Aqua destillata 100,0

Hydrochinon 2,0

Formol 5,0 mindestens 10 Minuten lang reduziert. Darauf werden sie wieder gut in Aqua destillata abgespült und mit einer 1 % Goldchloridlösung $^1/_4$—1 Stunde lang bedeckt. Nach abermaligem Abspülen in Wasser geschieht die Differenzierung in Acid. acet. glaciale 100,0

Glycerin 10,0, welche Lösung wie das Goldchlorid auf den Objektträger geträufelt wird, so dass die Schnitte bedeckt sind. Die Differenzierung kann fast beliebig lange (bis mehrere Tage) fortgesetzt werden, wobei man am besten das Präparat unter dem Mikroskop kontrolliert. Als Mindestzeit ist $^1/_2$ Stunde anzusetzen.

Nach Abspülen der Präparate kommen sie durch steigenden Alkohol in Xylol und werden dann mit einem Deckglas in der gewöhnlichen Weise eingebettet.

Die Nervenfasern nehmen eine dunkelrote bis schwarze Farbe an, je nach ihrem Plasmareichtum. Das Zellplasma und die Kerne selbst erscheinen leuchtend rot. Gliafasern bleiben ungefärbt.

An aufgestellten Präparaten werden Schnitte vom Grosshirn, Rückenmark, Chiasma, sympathischen Ganglion und peripheren Nerven demonstriert.

Andere Silbereiweisspräparate, darunter das Argenteum proteïnicum, ergaben keine brauchbaren Resultate.

Für die Versuche wurden von der chemischen Fabrik Beyer & Co. in zuvorkommender Weise 100,0 Protarpol zur Verfügung gestellt.

[Aus der psychiatrischen Klinik in Rostock.]

Ueber den histologischen Bau der Zirbeldrüse.

Von

Friedrich Karl Walter-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 15. Februar 1913.

Vorläufige Mitteilung.

Die Zahl der Arbeiten, die sich mit dem histologischen Bau der Zirbeldrüse befassen, ist auffallend gering im Verhältnis zu gleichartigen Untersuchungen anderer Drüsen mit innerer Sekretion. Der Grund dafür ist wohl hauptsächlich in der Tatsache zu suchen, dass der Bau, mit den bekannten Farbemethoden untersucht, eine verhältnismässig einfache Struktur zutage förderte. Wenn wir von den aus der Commissura posterior und habenularum in das Corpus pineale einstrahlenden Markfasern absehen, so soll das Paremchym aus „nahezu gleichen, aber unregelmässig, insbesondere im Innern dichter gefügten Zellen, zusammengesetzt“ sein, deren Charakteristikum „blass tingiertes Plasma“ und „grosse, ovale, im ganzen Umkreis mit Granulis besetzte Kerne“ ist. Nach der Grösse und Zahl der Körnchen hat Dimitrowa 4 verschiedene Zellarten unterschieden. Es ist aber bereits von Marburg, Obersteiner u. a. darauf hingewiesen, dass es sich hierbei wohl nur um verschiedene physiologische Zustände der gleichen Zellen handelt. Diese Zellelemente sind nun mehr oder weniger deutlich zu Läppchen aneinandergefügt, die ihrerseits durch Bindegewebssepten von einander getrennt sind, deren Zusammenhang mit der die Zirbel z. T. einhüllenden Pia leicht nachweisbar ist.

Gliazellen und Fasern sind besonders in der inneren, unteren Abteilung bereits von Weigert dargestellt, und, wie ich mich selbst überzeugt habe, leicht färbbar.

Der erste Färbeversuch mit der oben beschriebenen Goldfärbung liess sofort erkennen, dass dieser einfache Bau der

Zirbeldrüse nur ein scheinbarer ist, und dass hier im Gegenteil ganz ausserordentlich komplizierte Strukturen vorhanden sind. Sieht man ein Präparat mit schwacher Vergrösserung an, so fällt zuerst in die Augen, dass die Piasepten und Gefässe umsäumt resp. beim Flächenbild bedeckt sind von unzähligen kleinen Knöpfchen und Kolben, die die Endigungen von dünneren oder dickeren Fasern darstellen. Wenn man diese Gebilde vorurteilsfrei mit stärkerer Vergrösserung ansieht, so wird man bei den meisten nicht im Zweifel sein, dass es sich hierbei um Nerven-Fasern und deren Endigungen handelt, zumal sie auch in ihrer Färbbarkeit diesen völlig gleichen. Verfolgt man nun einzelne Fasern rückwärts, so sieht man oft mehrere in eine dickere Faser zusammenlaufen, die sich dann meist zwischen den Parenchymzellen verliert. Dadurch, dass nun eine grosse Menge solcher Fasern an die Bindegewebssepten und Gefässe herantreten, sich kurz vorher in mehrere Zweige teilen, deren jedes ein Endknöpfchen besitzt, entsteht um sie herum ein fast unentwirrbares Geflecht von Fasern und Kolben. Nur bei dünneren Schnitten ist es möglich, einzelne Fasern durch diesen Kranz ins Parenchym zu verfolgen.

Die nächstliegende Frage ist nun, woher stammen diese Fasern und welche Beziehung haben sie zu den eigentlichen Paremchymzellen? Wird die Färbung in ihrer gewöhnlichen, oben angegebenen Form angewandt, so gelingt es nur selten, einen Zusammenhang zwischen Zellen und Fasern zu finden. Durch geringe Modifikationen lässt sich aber deutlich zeigen, dass fast alle Paremchymzellen eine Anzahl Fortsätze besitzen, die nach ihrem Ursprung plasmareicher und daher roter, später dünner und plasmaärmer und damit dunkler (bis zur intensiven Schwärzung) werden. Das ganz analoge Verhalten zeigt sich auch bei der Bielschowsky-Färbung, nur dass die rote Farbe hier durch eine gelbe resp. braune ersetzt ist. Die meisten dieser Zellen zeigen einen grossen, runden Kern und eine schmale Zone von Plasma, die sich ebenso wie der Anfang der Fortsätze färbt. Die Anordnung, Dicke und Zahl der letzteren kann grosse Verschiedenheiten aufweisen.

Neben diesen, mehr oder weniger rundlichen Zellformen, die einen grossen Teil des Paremchyms ausmachen, kommen aber einzelne, meist wesentlich grössere Zellen vor, deren Konfiguration stark an die Pyramidenzellen der Hirnrinde und die grossen motorischen Ganglienzellen des Rückenmarks erinnern. Bei diesen

ist das Plasma recht reichlich vorhanden, der Kern dagegen meist undeutlich und oft kaum von dem umgebenden Zellleib abzugrenzen, was sie von gewöhnlichen Nervenzellen unterscheidet. Immer gehen von ihnen eine grosse Zahl von Fortsätzen aus. Ausserdem finden sich auf und in den Septen kleinere, polymorphe Zellen mit vielen, kurzen Ausläufern, die alle mit einem Kolben endigen. Allen Zellformen ist nun gemeinsam, dass sich unter ihren Fortsätzen keiner als Achsenzylinder unterscheiden lässt, abgesehen davon, dass die Tigroidsubstanz fehlt, und eine fibrilläre Struktur im Zellleib analog den Nervenzellen kaum nachweisbar ist. Cajal hat bei Kaninchen mit der Golgi-Methode in der Zirbeldrüse Zellen mit Fortsätzen und Endkolben dargestellt, von denen er angibt, dass sie vereinzelt im Parenchym gelegen seien, die nach der Abbildung und der kurzen Beschreibung möglicherweise unserm zuerst beschriebenen Typus analog zu setzen sind, obwohl ihre Anordnung dann eine ganz andere, wie die beim Menschen sein müsste. Aber auch Cajal gibt an, dass er einen Achsenzylinder nie habe nachweisen können und er hält es für möglich, dass sie den interstitiellen Nervenzellen der Drüsen (Cellulae interstitiales sympathicae) analog zu setzen sind. Wenn nun auch die grosse Zahl dieser Zellen beim Menschen (vielleicht ist die geringe Anzahl der von Cajal beim Kaninchen dargestellte nur eine scheinbare und die Folge der bekannten Eigenschaft der Golgi-Methode, immer nur vereinzelte Zellen zu imprägnieren) gegen diese spezielle Deutung sprechen, so scheint mir der sympathische Charakter derselben doch nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen zu sein. Denn einerseits kennen wir z. B. in dem Auerbachschen und Meissnerschen Nervenplexus des Darmes Zellen mit zahlreichen Fortsätzen, bei denen ebenfalls von einem differenzierten Achsenzylinder nicht gesprochen werden kann, und andererseits finden sich in der Zirbeldrüse sicher als sympathische Nerven zu identifizierende Fasern mit ganz gleichen Endknöpfen wie die oben beschriebenen; das sind die mit den Gefässen der Pia in die Zirbeldrüse eintretenden, dann sich meist von ihnen trennenden und in den Septen verlaufenden Fasern, die Cajal bereits beim Kaninchen beschrieben hat. So weit ich bisher sagen kann, dringen diese zum Teil zwischen die Parenchymzellen ein, zum Teil endigen sie frei in den Trabekeln. Die zahlreichen, zwischen den Parenchymzellen liegenden Endkolben und Fasern scheinen zum Teil von diesen selbst zu kommen und Verbindungen zwischen ihnen darzustellen, zum Teil aber die Endigungen der aus dem

Gehirn durch die Commissura posterior und vor allem der Commissura habenularum kommenden Markfasern und den sympathischen Fasern zu sein.

Ueber die Bedeutung der beschriebenen Zellen der Zirbeldrüse lässt sich bisher nur Hypothetisches sagen, da unsere pathologischen Untersuchungen dieser Gebilde noch viel zu lückenhaft sind. Sicher ist nur, dass sie in allen untersuchten Zirbeldrüsen, die Individuen vom 9.—62. Lebensjahr umfassen, sicher nachweisbar waren. Immerhin liegt es nahe, sie in Beziehung zur Funktion der sympathischen Nerven der Pia und der Plexus chorioidei zu setzen, die nach heutiger, ziemlich allgemein verbreiterter Ansicht für die Bildung des Liquor cerebro spinalis von ausschlaggebender Bedeutung sind.

An mikroskopischen Präparaten werden die beschriebenen Strukturen demonstriert.

Nachtrag bei der Korrektur: Kurz nachdem das Manuskript für die obige Mitteilung abgesandt war, erschien in der Ztschft. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatr. Bd. 6, H. 7 ein deutsches Autorreferat über eine Arbeit von Achucarro u. Sacristan aus dem biologischen Institut der Madrider Universität, in der die Autoren angeben, dass sie bei Anwendung der Cajalschen und Bielschowskyschen Silbermethode sympathische Ganglienzellen an den um die Gefässe herum liegenden Bindegewebsräumen gefunden hätten, deren Endfüsse den Gefässen anliegen. Es handelt sich dabei offenbar um die oben beschriebene erste Zellart und deren Geflechte. Da mir die Originalarbeit bisher nicht zugänglich war, ist eine genauere Beurteilung der Befunde dieser Autoren noch nicht möglich.

Das brasilianische Bergland.

Von

W. Ule-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 1. Februar 1913.

Bei seiner Reise durch das tropische Südamerika hatte der Vortragende sein Augenmerk auch besonders auf die Bergformen gerichtet, die in ihrer Abhängigkeit vom Klima in der Tropenzone manche von den Bergformen anderer Zonen abweichende Erscheinungen zeigen müssen. Das Studium der Bodengestalt wird aber in den Tropen dadurch erschwert, dass dort das Gestein nur selten offen zutage tritt. Meist ist es überdeckt von einer mächtigen Schicht des tropischen Verwitterungsbodens, des Laterits. Auch diesen hatte der Vortragende zum Gegenstand seiner Studien gemacht, aber für eine eingehendere Untersuchung reichte die Zeit nicht aus. Er konnte nur feststellen, dass der Laterit hauptsächlich in den Gebieten reicher Vegetation zu finden ist und dass seinem Vorkommen eine Grenze nach oben gesetzt zu sein scheint, ferner, dass er oft nicht eluvial, sondern bereits alluvial ist.

Das brasilianische Bergland zeigt nun in seinen Formen tatsächlich viel Eigenartiges, das wir wohl auf eine Wirkung tropischer Erosion und Denudation zurückführen dürfen. Im wesentlichen wird das östliche Brasilien von einem einheitlichen Hochland, einer uralten Landscholle, eingenommen. Dieses ist aber durch die langdauernde Erosion vielfach in ein reich gegliedertes Bergland umgewandelt. An der Küste ist ihm meist ein mehr oder weniger breites Flachland vorgelagert. Die Flüsse, die aus dem Innern kommen, durchfliessen in ihrem Unterlauf daher träge ein flaches Gelände und ihre Mündungen sind stark versandet. Erst in einiger Entfernung von der Küste steigt das

Ufer höher an und beginnt das Hochland. Dann stellen sich bald Stromschnellen und Wasserfälle ein und die Schiffbarkeit hört auf. Zu beiden Seiten des Flusses breitet sich immer mehr die einförmige Hochfläche aus, die sich aber nach dem Tal meist in ein vielgestaltiges Bergland von landschaftlich reizvoller Szenerie auflöst, in den Formen an das deutsche Mittelgebirge erinnernd. Das Flusstal selbst ist oft tief eingeschnitten und trägt überall die Spuren starker Erosion. Diese setzt hauptsächlich zur Zeit des Hochwassers ein, das infolge der reichlichen Tropenregen zuweilen eine gewaltige Höhe erreicht. Eine Fahrt auf dem Rio Paraguassu bei Bahia zeigt anschaulich diese typische Form der Flüsse, die jedoch auch in anderen Gebieten des brasilianischen Berglandes zu finden ist, was durch Bilder aus dem südlichen Brasilien (Blumenau) bestätigt werden konnte.

Als höheres Gebirge tritt das Hochland nur in dem mittleren Teil, etwa von Cabo Frio bis Santos, unmittelbar an das Meer. Hier zieht sich parallel der Küste die Serra do Mar hin, in die wiederholt tiefe Buchten einschneiden, nach dem Meer durch Inseln und Halbinseln abgeschlossen. An einer solchen Bucht liegt auch Rio de Janeiro, dessen berühmte Schönheit zum Teil auf der Lage inmitten eines vielgestaltigen Berglandes an einer reich verzweigten Wasserfläche beruht. An der schmalen Einfahrt steht der bekannte Zuckerhut, ein schroff aufragender, 395 m hoher Felsen. Er ist nicht der einzige seiner Art, vielmehr finden sich in der Umgebung Rio de Janeiros viele zuckerhutförmige Berge. Sie sind zu betrachten als die härtesten Kerne steil aufgerichteter Gesteinsschichten, die allein der Erosion und Denudation Stand gehalten haben. Die kahlen, glatten Wände dieser Felsen sind vermutlich die Schicht- oder Kluftflächen. Die Berglandschaften in der Umgebung der Stadt zeigen nun besonders viele solche eigenartige Bergformen, das ursprüngliche Hochland ist hier ausserordentlich stark zertalt und in eine unzählige Menge einzelner Berge aufgelöst. Besonders merkwürdige Formen bietet das Orgelgebirge bei Theresiopolis, während bei Petropolis die Berglandschaft mehr den Charakter unserer Mittelgebirge trägt.

Längs der Flusstäler ist auch das innere Hochland vielfach reich durchfurcht und oft in ein Gewirr von Bergen zerschnitten, deren Gipfel noch ein ursprünglich einheitliches Niveau erkennen lassen. Diese Berglandschaft lernte der Vortragende bei einer Fahrt nach dem Staate Minas Geraes kennen. Er besuchte hier

vor allem die Bergstadt Ouro Preto, die in der Serra do Espinhaço liegt. Hier bestieg er die Vorberge des Itakolumi, dessen höhere Partien aus wild zerklüfteten Felsen und wahren Blockmeeren bestehen. In diesen Höhen arbeitet demnach die Verwitterung und Denudation wesentlich anders als in den tieferen Regionen der tropischen Berge, wo der Boden meist von Laterit überdeckt ist. Noch weit grossartiger zeigt sich aber eine solche abweichende Form der Verwitterung auf dem angeblich 3000 m hohen Itatiaja in der Serra de Mantiqueira, der in der Höhe von etwa 2000 m an umgeben wird von einer wilden Berglandschaft, die an die Kalkberge der Alpen erinnert. Das Gestein, Nephelinsyenit, ist wie die Kalkgesteine der Alpen zu Schratten zerfurcht und wird von engen Kaminen durchsetzt. In den Felsen sind überall runde Löcher eingegraben und seine Oberfläche ist überaus rauh. Alle diese Erscheinungen deuten auf eine sehr starke chemische Erosion, deren Wirkungen durch die kräftige Spülung tropischer Regengüsse sicher noch gefördert wird. Die höchste Erhebung sind die Agulhas negras, die schwarzen Nadeln, eine schroff aufsteigende, etwa 600 m hohe Felsmasse, die zum Teil in einzelne Felsnadeln aufgelöst ist, und deren Besteigung nur mit Hilfe eines Seiles möglich war.

Gibt es spezifische, mit dem Abderhaldenschen Dialysierverfahren nachweisbare Schutzfermente im Blutserum Geisteskranker? [1]

Von

Dr. Johannes Fischer,

Assistent der Universitäts-Klinik und Poliklinik für Nerven- und Gemütskranke in Rostock.

(Direktor: Geh.-Rat Prof. Dr. Schuchardt.)

Vorgetragen in der Sitzung am 3. Mai 1913.

M. H.! Die epochemachenden Untersuchungen Abderhaldens auf dem Gebiete des Zellstoffwechsels scheinen berufen, wie für andere Zweige der medizinischen Wissenschaft, so besonders für die Psychiatrie und Neurologie von eminenter Bedeutung zu werden. Wie der Mehrzahl von Ihnen wohl aus den Arbeiten Abderhaldens und seiner Mitarbeiter bekannt sein dürfte, vollzieht sich normalerweise der Zellstoffwechsel etwa folgendermassen: Nachdem im Verdauungstraktus mit seinen verschiedenartigen Fermenten den kompliziert gebauten Bestandteilen der Nahrung ihre Eigenart genommen ist, indem sie in einfache Bausteine zerlegt sind, sind sie soweit abgebaut, dass sie vom Darm aufgenommen werden können. Die Zellen der Darmwand und der Leber prüfen nochmal die resorbierten Stoffe, ob sie völlig „körpereigen“ [2] und ob sie auch „bluteigen“ sind. Bevor sie nun mit dem Blute an die Zellen der einzelnen Organe herantreten, haben sie noch eine

[1] Vortrag, gehalten in der Naturforschenden Gesellschaft zu Rostock am 3. Mai 1913.

[2] Abderhalden gebraucht statt des Hamburgerschen Ausdruckes „arteigen“ bezw. „artfremd“ den Ausdruck „körpereigen“ bezw. „körperfremd“, wohl zum besseren Gegensatz gegen seine neu geprägten Ausdrücke „bluteigen“ bezw. „blutfremd“ und „zelleigen“ bezw. „zellfremd“.

Revision durch die Lymphe zu überstehen. Abderhalden vergleicht die Leukozyten mit Schutz- und Sicherheitsbeamten, die im ganzen Körper darüber wachen, dass den Zellen der Organe vom Darme aus nichts zugeführt wird, was „organfremd“, dem Blute nichts zugeführt wird, was „blutfremd“ ist. Die tierische Zelle hat besonders zwei Mittel, durch die sie sich vor dem Eindringen „zellfremder“ Stoffe schützt: die Zellwand und die Fermente. Mittelst der letzteren baut sie die ihr zugetragenen Nahrungsstoffe um. Durch diese teils abbauenden, teils synthetisierenden Prozesse formt sie neue Zellbausteine und Sekrete. Dabei verbrennt sie auch Material, um Energie zu gewinnen. Sie soll bei ihrem Stoffwechsel nur völlig bis in einfachste Bausteine zerlegte, und damit bluteigen gemachte Produkte entlassen. Wiederum sind es die Leukozyten, welche darüber wachen, dass dies geschieht.

Unter pathologischen Verhältnissen können nun „körperfremde“ und damit an sich schon „blut“- wie „organfremde“ Stoffe in den Körper eindringen. Es können auch — und hier kommen wir zu einem wesentlichen Fortschritt, den wir Abderhalden verdanken — Stoffe in den Körper gelangen, die zwar „körpereigen“, aber „organ“- und namentlich „blutfremd“ sind. In diesen Fällen werden Fermente mobil gemacht, die versuchen, das Versäumte nachzuholen und die eingedrungenen Stoffe nachträglich bluteigen zu machen, um das Blut, resp. den Gesamtkörper vor Schädlichkeiten zu bewahren. Abderhalden nennt diese Fermente mit Heilner „Schutzfermente“. Er hält es für wahrscheinlich, dass bei ihrer Bildung in erster Linie die weissen Blutkörperchen, weiterhin auch die roten Blutkörperchen und die Blutplättchen eine Rolle spielen. Es können sich so im Blute Eiweiss-, Fett- und Kohlehydrate spaltende Schutzfermente bilden.

Uns interessieren im folgenden die Schutzfermente gegen blutfremde Eiweisstoffe. Solche kreisen z. B. im Blute von Schwangeren, da sich nach den Untersuchungen von Schmorl, Veit und Weichardt in der Schwangerschaft Bestandteile von Chorionzotten loslösen und in das mütterliche Blut gelangen. Es gelang Abderhalden, im Blute von Schwangeren Schutzferment gegen Placentaeiweiss nachzuweisen. Damit bestanden die oben kurz skizzierten Forschungen Abderhaldens und seiner Mitarbeiter, die eine phaenomenale Arbeitsleistung darstellen, die Probe auf ihre praktische Verwertbarkeit. Wir wollen auf die

Frage der spezifischen Schutzfermente bei Schwangeren nicht näher eingehen.

Abderhalden hat zwei Methoden ausgearbeitet, um Eiweiss abbauende Fermente im Blutserum nachzuweisen: die optische Methode und das Dialysierverfahren. Dies letztere griff Fauser-Stuttgart auf, um bei Geisteskranken nach spezifischen Schutzfermenten zu fahnden.

Nach Abderhalden stehen alle Zellen des Körpers in Wechselbeziehungen. Bestimmte Zellen sind auf ganz bestimmte Sekretstoffe, die von anderen Organen abgesondert werden, angewiesen. Jede Zellgruppe, jedes Organ hat bestimmte Funktionen zu erfüllen. Daraus erhellt: wenn eine Zellgruppe dysfunktioniert, sei es, dass sie unabgebaute, unvollständig abgebaute oder falsch abgebaute Sekretstoffe an das Blut abgibt, so wird das schwerwiegende Folgen für andere Organe haben, die auf das Sekret des ersten angewiesen sind. Die Sekretstoffe eines dysfunktionierenden Organs sind blutfremd und provozieren Schutzfermente. Jedes Schutzferment ist ganz spezifisch auf das Substrat eingestellt, welches seine Bildung provoziert hat.

Diese Deduktionen Abderhaldens fielen bei Fauser auf besonders gut vorbereiteten Boden. Fauser stand — soweit ich aus den anregenden Unterhaltungen mit ihm erfahren habe —, wie wohl mancher denkende Psychiater, seit längerer Zeit unter dem Eindruck, dass einige Geisteskrankheiten, besonders die Dem. praec. durch Störungen der inneren Sekretion hervorgerufen würden; und zwar dachte er in erster Linie an die Geschlechtsdrüsen und an die Schilddrüse. Er suchte ständig, aber vergeblich nach einem Wege, um diesen seinen Ideen eine Gestalt zu geben. Im Jahre 1909 machte er eingehende Versuche mit der Komplementbindungsmethode, im Blute von Dem. praec.-Kranken Antikörper gegen Geschlechtsdrüsen und Schilddrüse nachzuweisen.[1]) Diese Versuche musste er erfolglos aufgeben. Im Oktober 1912 begann er Versuche mit der Abderhaldenschen Dialysiermethode, nachdem er sie in Halle erlernt hatte. Es gelang ihm nach einiger Zeit, einwandfreie Resultate zu erzielen und einige — wie es bis jetzt scheint — spezifische Schutzfermente im Serum Geisteskranker festzustellen. Als im ganzen konstant fand er bei Fällen aus der „Dementia praecox-Gruppe“ Schutzferment gegen

[1]) Herr San.-Rat Fauser hatte die Freundlichkeit, mich in die diesbezüglichen Versuchsprotokolle Einsicht nehmen zu lassen.

Geschlechtsdrüsen (und zwar bei Männern bis jetzt nur gegen Testikel, bei Frauen bis jetzt nur gegen Ovarium) und gegen Hirnrinde. In einigen Fällen von Dem. praec. fand er Schutzferment gegen Testikel und Schilddrüse. Bei Paralysis progr. war Schutzferment gegen Rinde nachweisbar. Bei manisch-depressivem Irresein und „überhaupt bei den sogenannten rein funktionellen Psychosen“ und der Hysterie wurde niemals Schutzferment gegen irgendein Organ gefunden. In schweren Fällen von epileptischen und alkoholischen Seelenstörungen wurde mehrmals Schutzferment gegen Rinde nachgewiesen. Diese Befunde waren im ganzen konstant. Ueber einige gelegentliche Abweichungen im einzelnen, sowie über theoretische Erwägungen im Anschluss an die obigen Befunde für die Auffassung der Krankheiten verweise ich auf die Arbeiten Fausers.

Von Abderhalden (2) wurde die von Zellen befreite Cerebrospinalflüssigkeit auf Schutzfermente geprüft. Er fand bei Paralytikern, dass Gehirn- und Rückenmarksubstanz abgebaut wurde. Fauser konnte in der Cerebrospinalflüssigkeit bisher keine Schutzfermente nachweisen.

Diese Untersuchungsresultate erschienen mir wie eine sonnige Lichtung in dem sonst etwas düsteren Walde der Psychiatrie. Ich war innerlich auch überzeugt, dass ein Teil der Geisteskrankheiten letzten Endes auf Anomalien der inneren Sekretion zurückgingen. Ich reiste deshalb nach Stuttgart, um hier die Abderhaldensche Methode bei Geisteskranken angewandt zu sehen und zu erlernen. Herr Sanitäts-Rat Fauser hatte die Freundlichkeit, mich theoretisch und praktisch in das Verfahren einzuführen. Er stellte mir sogar das Laboratorium und das Material des Bürgerhospitals zur Verfügung, um eine Reihe von Untersuchungen selbständig ausführen zu können. Ich spreche ihm für sein weitgehendes Entgegenkommen und sein reges Interesse auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aus, desgleichen Herrn Dr. Lempp.

Im folgenden will ich kurz über meine Tätigkeit im Bürgerhospital berichten in chronologischer Reihenfolge und mit Aufzählung der Fehler, die ich im Anfang machte. Am ersten Tage bereitete ich Hoden zu; ich hatte ihn nicht genügend gewässert und konnte ihn nur nach sehr langem Kochen einwandfrei bekommen. Dann prüfte ich Hülsen auf ihre Undurchlässigkeit resp. Durchlässigkeit für Eiweiss und Pepton. Eine der mit Eiweiss

beschickten Hülsen hatte ich nicht unter fliessendem Wasser abgespült. Das Dialysat dieser Hülse ergab am nächsten Tage positive Ninhydrinreaktion. Die Dialysate der mit Pepton beschickten Hülsen wurden nur sehr schwach positiv, weil die Menge der Peptonlösung zu gering war. Ich wiederholte denselben Versuch, insbesondere setzte ich die nicht abgespülte Hülse nochmal mit Eiweisslösung an und erhielt am Tage darauf einwandfreie Resultate. Am 19. IV. wurde mir von Herrn Dr. Lempp folgender Versuch demonstriert:

Zl. m. 22 J. „schweres degeneratives Irresein".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: neg.
Rinde + aqua: neg.
Testikel + aqua: neg.

Diese Versuchsreihe stand 16 Stunden im Brutschrank. Nachdem ich mich weiter im Zubereiten der Organe und im Ausführen von Ninhydrinreaktionen geübt hatte, nahm ich vom fünften Tage ab selbständige Versuche vor, zunächst unter Kontrolle auf etwaige Fehler in der Technik.

21. IV. 13.

Kn. m. 24 J. „Dem. praec." (Cf. 23. IV. u. 29. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: pos.

Em. m. 38 J. „Paralysis progr." (Cf. 23. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Testikel: neg.

Ei. m. 47 J. „Lues cerebri".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: zweifelhaft, eher pos.
„ „ + Niere: neg.
Testikel + aqua: neg.
Niere + aqua: neg.

Die Versuche wurden genau nach den letzten (verschärften) Abderhaldenschen Vorschriften ausgeführt. (Betreffs der Einzelheiten verweise ich auf die Arbeiten Abderhaldens.) Ausser-

dem wurde möglichst steril gearbeitet. Unter dem Eindruck der Erfahrungen, die an der Freiburger Klinik gemacht wurden[1]), wurden die frischen Organe zuerst einmal mit physiologischer Kochsalzlösung, dann weiter mit dem härteren Stuttgarter Leitungswasser ausgewaschen. Die Ninhydrinreaktion wurde bei dieser Versuchsreihe nach 15stündigem Verweilen im Brutofen ausgeführt, und zwar so, dass ich die Probe zum Kochen fertig Herrn Dr. Lempp reichte (ohne dass dieser wusste, welche Probe in dem betreffenden Reagenzglas war), und dieser dann das 1minütliche Kochen ausführte, um jede subjektive Beeinflussung beim Kochen auszuschliessen. Bekanntlich werden ja häufig Proben bei längerem Kochen noch positiv. Zu bemerken ist, dass die positiven Proben sehr schwach waren; ich wurde darauf hingewiesen, dass ich die Organstückchen vor dem Hineinbringen in die Hülsen mit den Fingern nicht genügend zerkleinert hatte. Das Ablesen der Proben wurde so vorgenommen, dass die Proben im Reagenzglasständer numeriert wurden; die Kölbchen mit den Dialysaten wurden so gestellt, dass die Aufschrift nicht zu sehen war. Jetzt wurden die Resultate schriftlich fixiert, zuerst von mir, dann von Herrn San.-Rat Fauser und von Herrn Dr. Lempp. Etwaige Unstimmigkeiten wurden verglichen. Ich kann aber gleich vorwegnehmen, dass es niemals zu Differenzen kam, dass die Proben immer eindeutig waren. Die Resultate dieser Versuchsreihe entsprechen den Erwartungen, die man nach den Fauserschen Untersuchungen haben konnte; höchstens mit Ausnahme von Fall Kn., der Rinde nicht abbaute (cf. 23. IV. u. 29. IV.).

23. IV. 13. Von der folgenden Versuchsreihe wurden die Fälle Wa., Ul., Lu., Kn. 15 Stunden im Brutofen belassen, die übrigen 16 Stunden.

Wa. m. 56 J. „Dem. praec." (Cf. 25. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: schwach pos.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Ul. m. 36 J. „Paralys. progr." (Cf. 25. IV. u. 28. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: schwach pos.
„ „ + Testikel: sehr schwach pos.
„ „ + Niere: neg.

[1]) Münchener Medizinische Wochenschrift. 1913. No. 13.

Lu. w. 35 J. „Dem. praec.“ „Geringe Struma.“
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Ovarium: pos.
„ „ + Thyreoidea: pos.
„ „ + Testikel: neg.

Kn. m. 24 J. „Dem. praec.“ (Cf. 21. IV. u. 29. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.

Ku. w. 38 J. „Depression“.
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Ovarium: pos.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Em. m. 38 J. „Paralys. progr.“ (Cf. 21. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Bu. w. 24 J. „Dem. praec.“ „Struma“.
akt. Serum + Rinde: pos.
„ „ + Ovarium: pos.
„ „ + Thyreoidea: pos.

Ep. w. 63 J. „Dem. praec.“ „Struma.“
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: schwach pos.
„ „ + Ovarium: zweifelhaft, eher pos.
„ „ + Thyreoidea: zweifelhaft, eher pos.
„ „ + Testikel: neg.
Rinde + aqua: neg.
Testikel + aqua: neg.
Ovarium + aqua: neg.
Thyreoidea + aqua: neg.
Niere + aqua: neg.

Mit dem Kochen und Ablesen der Proben wurde genau so vorgegangen, wie am 21. IV., nur dass statt Herrn Dr. Lempp Herr San.-Rat Fauser das Kochen übernahm. Abweichend von den gehegten Erwartungen ist folgendes: Kn. baute wiederum (cf. 21. IV.) Rinde nicht ab. Fauser wies in seiner letzten Arbeit darauf hin, dass bei Dem. praec. mit starken Intermissionen

und bei den Endzuständen sich leicht Zeiten finden, in denen sie Rinde nicht abbauen. — Im Fall Wa. wurde Rinde nicht abgebaut; ich komme darauf zurück (cf. 25. IV.). Bei Fall Em. war Serum + Rinde neg., am 21. IV. dagegen pos.; es drängt sich für diese immerhin seltenen Fälle die Vermutung auf, dass bei Paralytikern Schwankungen in der Dysfunktion (im Abderhaldenschen Sinne) der Rindenzellen bestehen, was ja mit den klinischen Beobachtungen durchaus in Einklang zu bringen ist. Bei Ul. war Serum + Testikel sehr schwach pos., wobei zu bemerken ist, dass ich selbst, ohne über die Herkunft der Probe orientiert zu sein, die Reaktion zuerst für neg. hielt, während Herr San.-Rat Fauser sie für sehr schwach pos. erklärte. An sich wäre es ja nicht ganz unmöglich, dass bei Paralyse, bekanntlich einer Erkrankung des Gesamtkörpers, gelegentlich auch mal Testikel abgebaut wird, ebenso wie Niere oder Leber. Am meisten Schwierigkeit macht Fall Ku., der Rinde und Ovarium abbaute. Der Fall wurde bisher als manisch-depressiv aufgefasst, welcher Auffassung ich mich auf Grund eigener Untersuchung bisher anschliessen musste. Es ist aber schon vom rein klinischen Standpunkt aus die Diagnose nicht zweifelsfrei festzustellen. Es handelt sich um einen seit mehreren Jahren in verschiedener Intensität fortbestehenden Erregungszustand, der einerseits durch den Wechsel von trauriger und heiterer Verstimmung, durch zeitweise auftretende Ideenflucht und Ablenkbarkeit u. ähnl. eher an manisch-depressives Irresein, dann aber wieder durch das Triebartige der Erregung und die geringe Gefühlsresonanz an einen katatonischen Erregungszustand denken lässt. Der Fall soll serologisch weiter verfolgt werden. Besonders mache ich noch darauf aufmerksam, dass Fall Lu. und Ep. Ovarium abbaute, Testikel aber nicht.

25. IV. 13. Diese Versuchsreihe war $15^3/_4$ Stunden im Brutofen.

Wa. m. 56 J. „Dem. praec." (Cf. 23. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Testikel: neg.

Ul. m. 36 J. „Paralys. progr." (Cf. 23. IV. u. 28. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Ma. m. 55 J. „Depression“. (Cf. 28. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.
Scha. m. 48 J. „Dem. praec.“ (Cf. 28. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Testikel: pos.
„ „ + Thyreoidea: neg.
Rinde + aqua: neg.
Testikel + aqua: neg.
Thyreoidea + aqua: neg.

Die Proben wurden in derselben Weise wie am 21. und 23. IV. gekocht und abgelesen, nur kochte diesmal die Laborantin, Fräulein Seiler. (Fräulein S. ist sehr geschickt in dieser Untersuchungsmethode, und ich verdanke ihr manchen guten praktischen Wink.) Zu bemerken ist, dass Fall Wa. Rinde abbaute, Testikel aber nicht. Am 23. IV. war es umgekehrt. Man könnte sich vielleicht denken, dass am 23. IV. der Testikel stärker dysfunktionierte, als am 25. IV. Diese stärkere Dysfunktion übte auf die Hirnrinde irgendwelche schädigende Wirkungen aus, so dass sich am 25. IV. Schutzferment gegen Rinde im Blute fand. Die übrigen Resultate stimmten völlig mit den Erwartungen überein, insbesondere baute Fall Ul. Testikel nicht ab (cf. 23. IV.).

28. IV. 13. Diese Versuchsreihe war 16 Stunden im Brutofen.

Sch. m. 48 J. „Dem. praec.“ (Cf. 25. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: eher pos.
„ „ + Testikel: pos.
„ „ + Thyreoidea: neg.
Ul. m. 36 J. „Paralys. progr.“ (Cf. 23. u. 25. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.
Ma. m. 55 J. „Depression“ (Cf. 25. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.

akt. Serum + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.
„ „ + Placenta: neg. (!)

Re. w. 36 J. „Gravida im 8. Monat".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.
„ „ + Placenta: stark pos. (!)
Rinde + aqua: neg.
Testikel + aqua: neg.
Thyreoidea + aqua: neg.
Placenta + aqua: neg.

Jedes einzelne Resultat entsprach also den Erwartungen. Insbesondere hatte die Schwangerschaftsreaktion samt allen Kontrollen ein schönes völlig einwandfreies Ergebnis.

29. IV. 13. Die folgende Versuchsreihe war 16 Stunden im Brutofen.

Kn. m. 24 J. „Dem. praec." (Cf. 21. IV. und 23. IV.)
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: schwach pos.
„ „ + Testikel: pos.
„ „ + Ovarium: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Bk. m. 38 J. „Epilepsie".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ Ovarium: neg.

Na. w. 52 J. „Depression".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: neg.
„ „ + Ovarium: neg.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Gö. w. 32 J. „Dementia praecox".
akt. Serum allein: neg.
„ „ + Rinde: schwach pos.

akt. Serum + Ovarium: stark pos.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.

Fr. w. 21. J. „Dem. praec.“
akt. Serum allein:
„ „ + Rinde: pos.
„ „ + Ovarium: stark pos.
„ „ + Testikel: neg.
„ „ + Thyreoidea: neg.
Rinde + aqua: neg.
Testikel + aqua: neg.
Ovarium + aqua: neg.
Thyreoidea + aqua: neg.

Auch diese Versuchsreihe entsprach völlig den Fauserschen Resultaten. Erwähnenswert ist, dass Fall Kn., der am 21. u. 23. IV. Rinde nicht abbaute, diesmal Rinde abgebaut hat. Die Versuche vom 28. und 29. IV. wurden, wenigstens zum Teil, in Gegenwart dreier Kollegen von auswärts ausgeführt. Am 29. IV. wurde zu den Versuchen Ovarium und Testikel verwendet, welche einer der auswärtigen Kollegen zu diesem Zwecke mitgebracht hatte. Er selbst hatte mit denselben Organen keine einwandfreien Resultate erzielen können.

Ich möchte noch einmal hervorheben, dass die oben mitgeteilten Versuche bis in jede Einzelheit selbständig von mir ausgeführt wurden (ausgenommen, wie mitgeteilt, das Kochen der Dialysatproben), und zwar in Abwesenheit von Herrn Sanitäts-Rat Fauser. Als Kontrollproben wurden in allen Fällen, in denen das Material ausreichte, angesetzt: Serum allein und Organ + Aqua.

Ich habe im ganzen 24 Fälle untersucht; das Serum stammte von 16 verschiedenen Kranken, so dass 6 Kranke wiederholt untersucht wurden, und zwar 2 Kranke je 3mal, 4 Kranke je 2mal. Die wiederholten Untersuchungen an denselben Kranken sind für mich besonders überzeugend. — Die Einzeluntersuchungen an den 24 Fällen betragen 115. Von diesen 115 Einzeluntersuchungen entsprachen 107 ganz den Resultaten, die Fauser bei seinen Fällen erhielt. 8 Einzeluntersuchungen waren auffallend, lassen sich aber, wie wir oben gesehen haben, zwanglos in das Ganze einfügen. Abgesehen davon aber gab es mir bei der Sichtung der Fälle zu denken, dass von diesen auffallenden 8 Einzelresultaten

sich 7 bei den beiden ersten Versuchsreihen finden. Es ist mir nicht unwahrscheinlich, dass bei den beiden ersten Versuchsreihen kleine Unvollkommenheiten der Technik vorlagen, die sich nicht eruieren liessen; umsomehr als die Mehrzahl der Fälle, bei denen sich diese auffallenden Resultate fanden, bei späteren Untersuchungen einwandfreie Ergebnisse lieferten. Von den 24 untersuchten Fällen waren 9 Fälle von Dem. praec. ohne Struma, 3 Fälle von Dem. praec. mit Struma, 5 Fälle von Paralyse, 1 Fall von Lues cerebri, 4 Fälle von man.-depr. Irresein, 1 Fall von Epilepsie, 1 Fall von Gravidität.

Auf Grund meiner Untersuchungen kann ich die Resultate Fausers insoweit bestätigen:

1. Die Blutsera der Fälle von Dem. praec.-Kranken bauten ziemlich konstant Hirnrinde und Geschlechtsdrüsen ab und zwar (wie wir an einer verhältnismässig grossen Zahl von Kontrollproben gesehen haben) das Serum von Frauen nur Ovarium, das Serum von Männern nur Testikel. Die Fälle mit Struma bauten ausserdem auch Schilddrüse ab.
2. Die Fälle von Paralyse bauten ziemlich konstant Hirnrinde ab, der Fall von Lues cerebri nicht.
3. Die Fälle von man.-depr. Irresein (mit Ausnahme von einem mit unsicherer Diagnose) und der Fall von Epilepsie bauten keines der geprüften Organe ab.

Vom Vorhandensein des von Abderhalden gefundenen spezifischen Schutzfermentes bei Schwangeren konnte ich mich in einem Falle überzeugen.

Ich bin auf Grund meiner bisherigen Erfahrungen geneigt anzunehmen, dass die von Fauser gefundenen Schutzfermente bei Geisteskranken spezifisch sind.

Eine Bemerkung möchte ich noch anfügen. Fauser hat vereinzelt auch bei Fällen von Dem. praec. ohne Struma Abbau von Thyreoidea gefunden. Das war mir besonders interessant aus folgendem Grunde: Ermutigt durch — scheinbar erfolgreiche — Versuche des Herrn Privat-Dozent Dr. Walter an unserer Klinik mit Darreichung von Thyreoidea-Tabletten bei frischen Fällen von Dem. praec., habe ich versuchsweise in der Poliklinik in einer Anzahl von Fällen mit motor. und psych. Hemmungszuständen, die als beginnende Dem. praec.-Fälle aufzufassen waren (und bei deren Untersuchung sich mir unwillkürlich der Eindruck von

Hypothyreoidismus aufdrängte), Thyreoidea in kleinen Dosen gegeben. Wie es mir bis jetzt scheint, hatte die Schilddrüsendarreichung einigen Einfluss. Die Kranken wurden auffallend schnell freier, das subjektive Befinden, der Appetit hob sich verhältnismässig bald. Hoffentlich werden uns weitere serologische Untersuchungen noch mehr Aufschluss über das Korrelationsverhältnis zwischen Geschlechtsdrüsen und Schilddrüse geben.

Zum Schlusse möchte ich meiner Ueberzeugung Ausdruck geben, dass Abderhalden mit der Ausarbeitung seiner Lehre von den Schutzfermenten und deren Nachweis im Blutserum der Psychiatrie einen unschätzbaren Dienst geleistet hat. Diese Lehre wird einstmals in der Geschichte der Psychiatrie einen tiefen Einschnitt bedeuten. Fauser hat als erster mit dem Abderhaldenschen Verfahren aus der unendlichen Fülle von Fragestellungen einen Kern herausgeschält und einige (wie bis jetzt anzunehmen) spezifische Schutzfermente im Blute Geisteskranker nachgewiesen. Das ist eine wissenschaftliche Tat, die geeignet erscheint, eine Reformation in der Auffassung mancher Geisteskrankheiten anzubahnen. Die Abderhaldenschen Methoden werden uns, so hoffe ich, die Möglichkeit geben, näher in das innere Wesen der Geisteskrankheiten einzudringen. Die serologischen Befunde können die pathol. Anatomie ergänzen und die klinischen Diagnosen kontrollieren und ev. korrigieren. Freilich ist bis dahin noch ein mühevoller Weg. Viel feine Detailarbeit wird nötig sein — besonders an Instituten mit grossem Material. Viele einzelne Bausteine müssen noch zu den Grundsteinen Abderhaldens und Fausers zusammengetragen werden. Dann aber wird ein genialer Baumeister eine dankbare Aufgabe darin finden, uns aus diesen Bausteinen ein Gebäude zu errichten, in dem jeder Psychiater sich auskennt und sich heimisch fühlt. Und dies Gebäude wird eine neue einheitliche Systematik der Psychiatrie sein!

Literatur-Verzeichnis.

1. E. Abderhalden, Schutzfermente des tierischen Organismus und die dort zusammengestellte Literatur. Berlin 1912. Springer.

2. E. Abderhalden, Ausblicke über die Verwertbarkeit der Ergebnisse unserer Forschungen auf dem Gebiete des Zellstoffwechsels zur Lösung von Fragestellungen auf dem Gebiete der Pathologie des Nervensystems. Deutsche Med. Wochenschrift. 1912, No. 48

3. E. Abderhalden, Handbuch der biochemischen Arbeitsmethoden. Berlin und Wien 1912.

4. A. Fauser, Deutsche Med. Wochenschrift. 1912, No. 52.

5. A. Fauser, Deutsche Med. Wechenschrift. 1913, No. 7.

6. A. Fauser, Münchener Med. Wochenschrift. 1913, No. 11.

[Aus dem pathologischen Institute der Universität Rostock.]
(Direktor: Prof. Dr. E. Schwalbe.)

Ueber Anophthalmie beim Hühnchen.

Mit Bemerkungen über Anencephalie und Cyklopie.

Von
Dr. Hermann Josephy-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 3. Mai 1913.

Die Beobachtungen, über die ich hier berichten möchte, sind gemacht an Missbildungen, die das Pathologische Institut Herrn Geheimrat Barfurth verdankt. Es handelt sich um eine Anzahl von Hühnchenembryonen im Alter von etwa 8 Tagen.

Die Untersuchung derartiger teratologischer Objekte ist nicht ohne Interesse. Da es sich ja um immerhin noch junge Feten handelt, ist die Möglichkeit vorhanden, Anomalien der Entwicklung in Stadien zu sehen, die auf die Genese vielleicht eher Rückschlüsse erlauben, als dieselben Missbildungen bei älteren Individuen. Man hat ausserdem einen Vorteil, der nicht zu unterschätzen ist: Man kann diese kleinen Embryonen leicht in Serienschnitte zerlegen und bekommt so Einblicke, die bei der makroskopischen und auch mikroskopischen Untersuchung grösserer Objekte gar nicht zu erlangen sind.

Die Missbildungen der von mir untersuchten Tiere betreffen den Kopf und zwar die Augen und bei einigen Exemplaren auch das Gehirn. Ich gehe zunächst auf die Augenmissbildungen ein. Nach ihrem makroskopischen Aussehen sind die Feten als Anophthalmi zu bezeichnen. Es finden sich Individuen, denen beide Augen fehlen, Anophthalmia bilateralis, und solche, bei denen nur das eine Auge fehlt, Anophthalmia unilateralis. Die Tiere mit doppelseitiger Anophthalmie haben einen symmetrisch gebauten Kopf, der nur auffällig klein erscheint. Es liegt dies daran, dass

bei den normalen 8tägigen Hühnchen die Augen einen relativ grossen Teil des Kopfes bilden, ihr Ausfall also zu einer erheblichen Verkleinerung führt. Recht eigentümlich ist das Aussehen der Tiere, denen nur ein Auge fehlt. Der Kopf weist hier eine auffällige Asymmetrie auf, die besonders darin zum Ausdruck kommt, dass die Spitze des Oberschnabels nach der Seite des Defektes hin sieht. Die Asymmetrie lässt sich bei genauer Untersuchung am ganzen Skelett und allen Weichteilen des Kopfes nachweisen. Ihre Entstehung steht in einem ursächlichen Verhältnis zur Missbildung des Auges. Die anophthalmen und ebenso die mikrophthalmen Hühnchen verhalten sich hier nämlich anders als die analogen Missbildungen beim Menschen resp. den Säugern. Hier ist trotz Fehlens oder Kleinheit des Bulbus die Orbita im wesentlichen normal entwickelt; sie ist als eine Höhle vorhanden, die von Rudimenten der Augenmuskulatur, von Fett und anderem mehr oder weniger völlig ausgefüllt wird. So findet sich denn hier auch bei An- resp. Mikrophthalmie keine Verschiebung am Skelett und den Weichteilen des Kopfes, und bei einseitigem Bulbusmangel keine auffälligere Symmetriestörung. Anders beim Hühnchen. Hier passt sich die Orbita in ihren Grössenverhältnissen dem Bulbus an. Fehlt dieser oder ist er verkleinert, so liegen die Orbitalknochen ganz dicht zusammen. Dem passt sich das ganze Kopfskelett an. Es tritt eine Verschiebung aller Teile ein; sie ist, wenn beide Bulbi fehlen, symmetrisch, fehlt nur der eine, so werden gewissermassen alle Organe des Kopfes nach der Stelle des Augendefektes hin zusammengeschoben. Das, was vor dem Bulbus liegt, wird nach hinten verlagert, das, was über ihm liegt, nach unten etc. Fehlt z. B. das rechte Auge, so liegt die rechte Nasenhöhle weiter nach hinten als die linke, das rechte Ohr dagegen mehr nach vorne, das Kiefergelenk liegt rechts höher als links, umgekehrt die Schädelbasis mit ihrer rechten Hälfte tiefer als mit ihrer linken. Es besteht hier zwischen Hühnchen und Säugetieren ein recht bemerkenswerter Unterschied. Bei diesen ist die Ausbildung der Orbita anscheinend so gut wie unabhängig vom Bulbus. Beim Hühnchen dagegen zeigt sich eine deutliche Correlation zwischen Grösse des Augapfels und der Augenhöhle.

Der Begriff der Anophthalmie[1]) ist zunächst ein klinischer und bezieht sich nur auf die makroskopisch wahrnehmbaren Ver-

[1]) Lit. bei Seefelder, Die angeborenen Anomalien und Missbildungen des Auges, in Lubarsch-Ostertag, Ergebnisse. XIV. Jahrgang, Ergänzungsband, 1910.

hältnisse. Man nennt in diesem Sinne anophthalm die Individuen, bei denen ein Bulbusrudiment weder durch Inspektion, noch durch Palpation, noch sonst irgendwie nachzuweisen ist.

Die mikroskopische Untersuchung derartiger Fälle hat nun zu einer starken Modifikation und Einschränkung des Begriffs der Anophthalmie geführt. Die Casuistik lässt sich hiernach in folgende Gruppen einreihen: Erstens kann jede Andeutung eines Bulbus überhaupt fehlen. Es liegt also Augenlosigkeit im strengsten Sinne vor. Hierbei kann es sich entweder um wirkliche Agenesie handeln, d. h. eine Augenblase ist überhaupt nicht gebildet worden. Oder es ist auch möglich, dass sie zwar angelegt war, aber im Laufe der Entwicklung wieder zugrunde gegangen ist. Eine zweite Gruppe bilden die Fälle, wo sich nur mesodermale Bestandteile des Bulbus finden, während die epithelialen fehlen. Es ist klar, dass diese Formen im Prinzip ebenso aufzufassen sind, wie die der ersten Gruppe. Drittens endlich sind hier die Fälle zu nennen, bei denen das Auge zwar angelegt ist, aber seine Entwicklung nicht über das Stadium der primären Augenblase hinausgekommen ist. Es handelt sich hier natürlich nicht eigentlich um Anophthalmie. Aber eine korrekte Bezeichnung für diese Entwicklungsstörung fehlt. Auch der Name Mikrophthalmie, unter dem einige hierher gehörende Fälle gehen, trifft nicht das Wesentliche. Der Befund bei diesen Fällen ist verschieden, man hat meist an Stelle des Bulbus eine Cyste gefunden, die mit Pigmentepithel mit Retinaelementen oder auch mit gliösem Gewebe ausgekleidet sein kann.

Die bisher von mir untersuchten Hühnchen gehören alle dieser letzten Klasse an. Die Augenanlage fehlt bei keinem Tier vollständig, aber es ist auch nie zur Entstehung eines sekundären Augenbechers gekommen.

In allen Fällen sind die Orbitalknorpel vorhanden, nur sind sie klein und liegen dicht beisammen. Auch die Augenmuskel sind wenigstens teilweise sicher da. Zu erwähnen wäre weiter, dass immer rudimentäre Lider entwickelt sind.

Das, was ich an Teilen des epithelialen Bulbus (mesodermale charakteristische Bestandteile sind noch nicht gebildet) gefunden habe, lässt sich leicht in eine Reihe einordnen. Sie beginnt mit einem Fall, wo sich eine ganz minimale Andeutung der Augenanlage findet und geht bis zu Formen, bei denen das Rudiment der Augenblase eine weitgehende Differenzierung zeigt. An den

Anfang der Reihe wären Fälle zu stellen, bei denen eine Augenblase gar nicht angelegt ist. Ich habe, wie erwähnt, eine derartige Beobachtung nicht unter meinem Material.

Ich beginne mit dem einfachsten Fall. Hier ist die Augenanlage nur durch eine ganz kurze epitheliale Ausstülpung des Gehirns angedeutet. Ihre Zellen liegen ziemlich ungeordnet und weisen reichliche vakuoläre Zwischenräume auf, Pigment ist nicht gebildet. Hervorzuheben ist, dass dieses Augenrudiment vollständig in der Hirnkapsel eingeschlossen ist.

Den zweiten Grad der Entwicklung zeigt dasselbe Tier auf der andern Seite. Hier ist eine ebenfalls hohle, schlauchförmige Augenanlage vorhanden. Sie setzt sich bis zwischen die Orbitalknorpel fort. An ihrem distalen Ende weisen ihre Zellen eine starke Einlagerung von Pigment auf.

Hieran schliesst sich eine Form an, bei der am distalen Ende des Augenblasenstils ein grösseres cystisches Gebilde sitzt. Es lässt zahlreiche fingerförmige Ausstülpungen erkennen. Sein Epithel ist einschichtig und mit ziemlich viel Pigment beladen. Eine Differenzierung retinaler Elemente fehlt.

Bei dem nächsten Fall, einer Anophthalmia bilateralis, sind beiderseits ähnlich ausgebildete Augenrudimente vorhanden. Sie zeigen eine höhere Stufe der Entwicklung. Es zeigt sich hier eine Trennung von Retina und Pigmentepithel. Dieses zeigt die gleichen Wucherungen wie vorher. Die Retina wird gebildet durch eine nach aussen konvexe Lage eines anscheinend einschichtigen Epithels. Eine irgendwie erhebliche Ausbildung von Schichten fehlt ihr jedenfalls.

Dass auch diese eintreten kann, mag die nächste Beobachtung beweisen. Hier ist eine Netzhaut vorhanden, in der mehrere Schichten ganz deutlich zu erkennen sind, sie gleicht an manchen Stellen fast ganz der Retina des normalen Auges.

Dieser Fall weist eine Besonderheit auf, die einer kurzen Beachtung wert erscheint. Während nämlich bei allen anderen Fällen eine Linse nicht nachzuweisen ist, ist sie hier vorhanden. Verfolgt man die Serie nach vorne, so ist in einem Schnitt, wo gerade noch ein letzter Ausläufer der Augenblase vorhanden ist, die Linse gerade zuerst angeschnitten. Es ist sicher, dass sie hier von der Augenblase durch einen nicht unerheblichen Zwischenraum, der vom Bindegewebe und Knorpel ausgefüllt wird, getrennt ist. Die Linse ist, wie die folgenden Schnitte zeigen, gut ausgebildet.

Ich will darauf verzichten, die ganze Frage der Linsenentwicklung hier aufzurollen. Es liegt natürlich nahe, bei einem Befund, wie ich ihn erhoben habe, daran zu denken, dass sich diese Linse ohne den Einfluss der Augenanlage, wenigstens ohne Berührungsreiz, entwickelt hat. Aber ich glaube doch, dass man mit diesem Schluss auf Grund einer solchen Beobachtung sehr vorsichtig sein muss. Es ist wohl kaum mit Sicherheit auszuschliessen, dass hier in früheren Entwicklungsstadien Augenbecher und Epithel sich berührt haben, und dass das mesodermale Gewebe sich erst sekundär zwischen sie geschoben hat. Der Umstand, dass die Entwicklung einer derartigen heterotopen Linse offenbar einen Ausnahmefall bei diesen Hühnchen darstellt, spricht auch nicht gerade für ihre unabhängige Differenzierung. Soviel ist allerdings wohl zu sagen, dass die einmal angelegte Linse sich auch in isolierter Lage weiter entwickeln kann und ferner, dass zur Auslösung der Entwicklung auch die nicht zum Augenbecher sich umbildende Augenanlage fähig ist.

Ich komme zur Anophthalmie zurück. Es fragt sich, wie die Entwicklungsanomalien, die ich eben gezeigt habe, formal genetisch aufzufassen sind.[1]) Es ist hier hauptsächlich zu entscheiden, ob eine Defektbildung oder eine Hemmungsbildung vorliegt. In Anbetracht der letzten Form mit hochdifferenzierter Retina und mit Pigmentepithel könnte man geneigt sein, anzunehmen, dass die Augenanlage zwar vollständig vorhanden war, dass aber durch irgendwelche Einflüsse die Einstülpung zum sekundären Augenbecher gehindert wurde. Ich glaube aber doch, diese Auffassung ablehnen zu müssen. Der Umstand, dass sich mit Leichtigkeit eine Reihe aufstellen lässt, vom Defekt der Anlage zu einer kleinen Andeutung derselben und weiterhin bis zu den letzten hochdifferenzierten Formen, lässt an eine Defektbildung denken. Nimmt man an, dass die Augenanlage ganz oder zum Teil von vornherein dem Embryo fehlt, so erklärt sich diese Stufenreihe der Missbildungen leicht durch die grössere oder geringere Ausdehnung des Defektes.

Ich möchte nun noch mit einigen Worten auf die Missbildung des Gehirns, die sich bei einigen Hühnchen findet, eingehen. Makroskopisch findet man in den typischen Fällen an der Stelle der glatten, halbkugeligen Schädelwölbung eine flächenhaft aus-

[1]) Bezüglich der kausalen Genese wies Geheimrat Barfurth in der Diskussion auf Schädigungen der Eier durch Temperaturschwankungen hin.

gebreitete und mit einem windungsähnlichen Relief versehene Platte. Sie wird durch eine tiefe, längsgestellte Furche in zwei symmetrische Hälften geteilt. Auf Schnitten sieht man leicht, um was es sich handelt. Es ist hier nicht zur Bildung eines geschlossenen Hirnrohrs gekommen. Vielmehr liegt eine flach ausgebreitete Platte nervöser Substanz vor, die seitlich in das Ektoderm des Kopfes übergeht. Die mittlere Längsfurche deutet eine Teilung in Hemisphären an. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass wir es hier mit derjenigen Missbildung zu tun haben, die beim Menschen als Cranioschisis resp. Anencephalie bekannt ist. Wenigstens liegt den meisten Fällen dieser Missbildung derselbe Vorgang der formalen Genese zugrunde, nämlich ein Ausbleiben des Verschlusses der Medullarplatte zum Medullarrohr.

Derartige Entwicklungsstörungen sind bei jüngeren Embryonen öfter beschrieben. Sie geben für die Beurteilung der Cranioschisis und der gleichen Missbildung am Rückenmark, der Rhachischisis manchen wertvollen Hinweis. Ich hebe einen Punkt hervor: Wenn man das Nervensystem derartiger Fälle totaler Cranio- und Rhachischisis bei menschlichen Früchten untersucht, so findet man oft, dass spezifische Nervensubstanz bei ihnen gar nicht oder nur in ganz geringer Menge ausgebildet ist. Im Gegensatz dazu ist leicht festzustellen, dass hier bei den Hühnchen die Masse und sehr wahrscheinlich auch die Qualität der nervösen Substanz des nicht eingefalteten Gehirns jedenfalls nicht erheblich geringer ist, als die eines normalen Gehirns. Meiner Ansicht nach ist nicht daran zu zweifeln, dass hier im Laufe der fetalen Entwicklung ausgedehnte Zerstörungen und Rückbildungen eintreten können, und dass die ausgedehnten Defekte bei älteren Feten keineswegs immer primär zu sein brauchen.

Die Entwicklungsstörung des Gehirns, wie sie sich bei diesen Hühnchen findet, gibt noch zur Ueberlegung bezüglich einer ganz anderen Missbildung Veranlassung. Es handelt sich um Untersuchungen über die Genese der Cyklopie, wie sie insbesondere von dem französischen Forscher Rabaud[1]) angestellt sind. Ich muss auf die Ansichten Rabauds kurz eingehen. Sie stützen sich auf Beobachtungen an 1—5tägigen Hühnchen. Nach ihm spielt sich die formale Genese der Cyklopie folgendermassen ab: Das vorderste Ende der Medullarplatte schliesst sich nicht in gewohnter Weise

[1]) Rabaud, C. A., Recherches embryologiques sur les Cyclocéphales. Journ. de l'Anatomie et de la Physiologie. XXXVII. XXXVIII. 1901, 1902.

zum Rohr, sondern erhält sich als Platte, die seitlich ins Ektoderm des Embryo übergeht. Sekundär kommt dann ein geschlossenes Gehirn zustande, aber nicht durch Einfaltung der Medullarplatte, sondern indem sich an den Uebergang der Medullarplatte ins Ektoderm eine Epithelfalte erhebt, deren äusseres Blatt Ektoderm und deren inneres Blatt nervöse Substanz bildet. Es handelt sich um eine Ueberwachsung und die so geschaffene Decke des Vorderhirns hat kein Homologon am normalen Gehirn.

Dass die beiden Epithelfalten, die also seitlich von der Medullarplatte liegen, auch wirklich zur Verschmelzung kommen, hat Rabaud nie beobachtet. Er zweifelt aber nicht daran, dass dies bei weiterer Entwicklung der Feten der Fall sein wird.

Es ist nun zunächst dagegen Einspruch zu erheben, dass die formale Genese des Gehirns bei Säugetiercyklopen sich ähnlich abgespielt hat. Denn was müsste man erwarten, wenn ein Gehirn sich in der von Rabaud angegebenen Weise fortentwickelte. Die ganze Medullarplatte, also das, was normalerweise zum geschlossenen Rohr wird, bleibt flach ausgebreitet. Folglich müssten am entwickelten Gehirn in einer Ebene liegen die normale Basis und seitlich davon die Teile, die normal Seite und Konvexität des Gehirns bilden. Ferner müssten wir bei den Cyklopen eine Hirnkonvexität haben, die kein Homologon am normalen Cerebrum hätte. Beides trifft für das Gehirn der Säugetiercyklopen absolut nicht zu. Es kann gar kein Zweifel bestehen, dass das, was hier die Konvexität des bekanntlich nicht in Hemisphären geschiedenen Vorderhirns bildet, homolog ist mit Teilen der normalen Hirnkonvexität. Ebenso ist nicht zu bezweifeln, dass die Basis eines solchen Cyklopengehirns keine Teile enthält, die ihr nicht normalerweise schon angehören. Mit anderen Worten: es hat sich bei den Säugetiercyklopen — von diesen ist zunächst nur die Rede — genau so eine allerdings wohl defekte Medullarplatte zum Hirnrohr umgebildet wie beim normalen Tier.

Ich komme nun auf die Hühnchen zurück. Es bedarf hier wohl keiner näheren Begründung, wenn ich sage, dass die demonstrierten Tiere keine Cyklopen sind. Suchen wir nun aber bei ihnen uns die frühen Embryonalstadien zu rekonstruieren, so kommen wir ohne Zweifel zu Feten, die bezüglich der Hirnanlage genau den Rabaudschen Hühnchencyklopen gleichen. Bei beiden muss in derselben Weise das Hirnrohr flach ausgebreitet gewesen sein und sich nicht eingefaltet haben. Eine Differenz besteht

insofern, als bei den Rabaudschen Tieren die seitlichen Epithelfalten einen Schluss des Hirnrohrs herbeigeführt haben sollen. Aber einmal hat Rabaud nie einen wirklichen Verschluss beobachtet und zweitens fehlt meines Erachtens der Beweis, dass die verschiedene Ausbildung dieser Falten als temporär verschiedene Stadien desselben Prozesses und nicht als verschiedene Grade derselben Missbildung anzudeuten sind. Ich glaube, dass von Rabauds Fällen ein Teil überhaupt keine Cyklopen sind und ein anderer Teil keine reinen Cyklopen, sondern eine Kombination von Cyklopie und Anencephalie darstellen. Rabaud meint, dass einige ältere Forscher[1]), die gleiche Fälle, wie er beobachteten, und sie als Anencephalen ansahen, sich in der Deutung ihrer Befunde irrten. Ich bin der Ansicht, dass vielmehr der Fehler auf seiner Seite liegt. Es sind, wie gesagt, ein Teil seiner Fälle sicher der Cyklopie zuzurechnen, bei einem andern Teil kann man meiner Meinung nach gar nicht beweisen, dass es Cyklopen sind oder geworden wären. Es scheint mir, dass Rabaud hier den Irrtum begeht, einen Teil der Medullarplatte als Augenstiel anzusehen.

Eine Stütze meiner Auffassung der Rabaudschen Fälle als Anencephalie resp. Anencephalie mit Cyklopie liegt in folgendem. Wie in der Hirngegend, so kommt es auch am Rückenmark vor, dass die Medullarplatte sich nicht zum geschlossenen Rohr einfaltet. Rabaud gelangt konsequenterweise hier zu der Anschauung, dass die Rhachischisis, — denn als solche muss diese Rückenmarksmissbildung sicher aufgefasst werden, — die einzige Anomalie ist, die mit der Cyklopie genetisch verwandt ist. Dies entspricht aber keineswegs den Resultaten, die man aus der Untersuchung dieser Missbildung gewonnen hat. Vielmehr ergibt sich hier zweifellos durchaus eine Uebereinstimmung zwischen Spina bifida und Cranioschisis. Fasst man die Hirnmissbildungen der in Rede stehenden Hühnchen als Cranioschisis auf, so ordnen sich diese Monstra zwangslos in die sehr grosse Anzahl der anderen Beobachtungen ein. Deutet man sie als Cyklopen, so ergeben sich hier Widersprüche, die meiner Ansicht nach gar nicht zu lösen sind.

[1]) z. B. Lebedeff, Virch. Arch., Bd. 86, 1881.

Der Einfluss des Hungers auf die Hydroiden
und
seine kausale Beziehung zum Polymorphismus.

Von
Ludwig Will-Rostock.

Hierzu Tafel 23.

Vorgetragen in der Sitzung am 5. Juli 1913.[1])

Bereits im Frühjahr 1896 machte ich die Wahrnehmung, dass in einem Gefässe, in dem ich mehrere Kolonien von Clava squamata zu Kurszwecken aufhob, die Polypen auffallende Gestaltsveränderungen erfuhren. Da die Kolonien gleichen Fanges in einem grossen, mit reicher Nahrung versehenen Aquarium sich völlig normal verhielten, vermutete ich, dass Hunger die Ursache der Gestaltsveränderungen gewesen sei. Besondere Hungerversuche mit Clava erwiesen schon damals meine Vermutung als zutreffend, ergaben aber gleichzeitig Anhaltspunkte für die Beurteilung des Polymorphismus bei den Hydroiden.

Besondere Umstände boten mir die Gelegenheit, meine Versuche in diesem Frühjahr in grösserem Umfange wieder aufzunehmen. Die Methode bestand darin, dass ich die Kolonien einzeln in filtriertem Ostseewasser in kleinen Schälchen isolierte, die teils durchlüftet, teils undurchlüftet bei Zimmertemperatur aufgehoben wurden. Der Unterschied im Erfolg bestand nur darin, dass in den undurchlüfteten Kulturen sich namentlich bei sommerlicher Temperatur eher Verluste durch auftretende Infusorien und Bakterien einstellten, als in durchlüfteten. Ueber den Verlauf der

[1]) Das letzte Kapitel erfuhr eine etwas ausführlichere Bearbeitung, als sie dem mündlichen Vortrag entspricht. Der mündliche Vortrag selbst wurde durch eine anschliessende umfängliche Demonstration der Originalpräparate von Clava und Syncoryne erläutert.

Versuche wurden regelmässige Protokolle geführt, namentlich auch die einzelnen Individuen einer Kolonie in den einzelnen Phasen der Gestaltsveränderung mit dem Abbeschen Zeichenapparat skizziert, resp. photographiert. Bei Abbruch des Versuchs wurden entweder die ganze Kolonie oder die einzelnen Individuen noch einmal gezeichnet, in vielen Fällen ebenfalls photographiert. Selbstverständlich ist, dass zu allen Versuchen nur Tiere benutzt wurden, die frisch in der Ostsee gefangen waren.

1. Der Einfluss des Hungers auf die Gestaltsveränderung.

Um den Einfluss des Hungers auf die Gestaltveränderung zu prüfen, experimentierte ich zunächst mit Tieren, die noch keine Spur einer Anlage von Gonophoren besassen. Da die Gonophorenbildung erst Ende Februar einsetzt, war ich Anfang Februar d. J. beim Beginn der Fischerei in der Lage, solch einfaches Material in reichlicher Menge zu sammeln.

Das Versuchsergebnis war mit grosser Uebereinstimmung das, dass die Tiere nach einigen Tagen eine übermässige Längsstreckung zeigten unter gleichzeitiger Längsstreckung ihrer Tentakeln, die ungefähr die doppelte Länge der Tentakeln frisch gefangener und gut genährter Individuen zeigen. Dabei zeigen Körper wie Tentakeln einen auffallenden Grad von Starrheit und Unempfindlichkeit gegen äussere Reize (Hungerstellung) Bald darauf fangen die Tentakeln an, am distalen Ende leicht keulenförmig anzuschwellen (Fig. 2) und noch später erfährt die Tentakelspitze eine kugelige Anschwellung, so dass sie wie geknöpft (Fig. 3) erscheinen. Schnitte ergaben, dass die kugeligen Anschwellungen der Ort von degenerativen Erscheinungen sind, die mit Zellenzerfall verbunden sind. Die kugeligen Anschwellungen können deshalb als ebensoviele Reduktionspunkte bezeichnet werden.

Auf diesem Stadium sind die Tiere noch imstande, Nahrung aufzunehmen, wie ich mich durch Fütterungsversuche überzeugt habe, bald hört aber dieses Vermögen auf, indem die Tentakeln sich nunmehr unter Verdickung stark verkürzen und die Mundöffnung zum Verschluss kommt. Ein charakteristisches, sich mit absoluter Regelmässigkeit wiederholendes Stadium ist dadurch charakterisiert, dass die Tentakeln nur noch von den kugeligen Reduktionspunkten (Fig. 4) repräsentiert werden, die ohne irgendwelchen Stiel direkt dem Polypenkörper ansitzen. Die Hungererscheinungen haben auch eine Farbenveränderung des Polypen zur Folge, indem

die schöne Orangefarbe der gut genährten Clava in ein reines Weiss übergeht. Die Farbenveränderung scheint an den massenhaften Zerfall von Entodermzellen geknüpft zu sein, deren körnige Einlagerungen die Orangefarbe der gut genährten Clava bedingen. Die Zerfallmassen können aus dem Gastralraum durch eine Kontraktion des Tieres durch die Mundöffnung entfernt werden, solange eine solche noch besteht. Ueberdies ist der Verschluss der Mundöffnung nicht in allen Fällen ein definitiver, sondern es konnten verschiedene Fälle konstatiert werden, in denen sie sich noch vorübergehend (Fig. 6) öffnete, um die Zerfallmassen zu entfernen, bis schliesslich der Verschluss ein dauernder wird.

Zur Zeit etwa, wo die Existenz der Tentakeln nur noch durch die der Polypenoberfläche dicht anliegenden, kugeligen Reduktionspunkte angedeutet wird, werden auch die in der Proboszis sich nach Schluss der Mundöffnung abspielenden Degenerationserscheinungen äusserlich sichtbar, indem sich die anfangs lang-kegelige Proboszis (Fig. 2) unter Verkürzung ebenfalls knopfartig verdickt (Fig. 4) und so als ein neuer Degenerationspunkt äusserlich kenntlich wird. Schliesslich schwinden die kugeligen Andeutungen der Tentakeln vollständig, und der neue Reduktionspunkt in der Proboszis (Fig. 5, 7) bleibt allein übrig, so dass in diesem Stadium der hungernde Polyp einen glatten, zylindrischen Schlauch darstellt, der distal mit der knopfartig verdickten, geschlossenen Proboszis gekrönt ist, die von dem Polypenkörper meist durch eine deutliche Einschnürung abgesetzt ist.

Mit allen diesen Veränderungen schreitet eine immer fortschreitende Verkürzung des Polypen einher. Früher oder später, häufig erst sehr spät, verstreicht auch die Einschnürung zwischen Polypenkörper und Proboszis, so dass der stark verkürzte Polyp einen glatten, kurzen, zylindrischen Körper darstellt, der oben abgerundet mit geschlossener Mundöffnung endet.

Der normale Polyp von Clava ist bekanntlich dadurch charakterisiert, dass nur die Basis vom Periderm eingescheidet ist, die auch durch die intensivere Gelbfärbung von den peridermfreien Hydrantenteilen sich auszeichnet. Wenn wir den Ausdruck „Hydrokaulus“ auf diese peridermüberzogene untere Partie beschränken, so ist zu betonen, dass er bis zu diesem Stadium überhaupt nicht von den Rückbildungserscheinungen beeinflusst wird.

Stets kehrt im Verlauf der Rückbildungserscheinungen ein Stadium wieder (Fig. 7), wo die Basis des Polypen von diesem Hydro-

kaulus gebildet wird, über den als einziger Ueberrest des Hydranten selbst nur noch der knopfartig verdickte Reduktionspunkt der Proboszis, durch eine Einschnürung von jenem getrennt, angetroffen wird. Schliesslich schwindet auch dieser letzte Rest des Hydranten; der Hydrokaulus allein ist noch übrig, bis als Endstadium die Weichteile des letzteren ganz in die Hydrorhiza zurücksinken (Fig. 8) und nur ein leerer Peridermbecher den Ort andeutet, wo ehemals der Polyp gesessen.

2. Hunger und Knospung.

Eine sehr eigenartige Erscheinung besteht darin, dass der Hunger bei Clava die Vermehrung durch Knospung gar nicht oder jedenfalls nicht in erkennbarer Weise beeinträchtigt. An allen hungernden Kolonien liess sich konstatieren, dass neben den mehr oder weniger zurückgebildeten alten Polypen zahlreiche junge, normal gebildete mit normalen Tentakeln neu durch Knospung entstanden. Durch einseitige Fütterung dieser liessen sich die neu entstandenen Polypen zu normalem Wachstum veranlassen, während die durch Hunger reduzierten im Reduktionsprozess fortfuhren. Während die Reduktion in unserm Falle durch äussere Faktoren veranlasst wird, ist die Knospung in erster Linie durch innere Faktoren bedingt, die jedenfalls durch den äusseren Eingriff mittels Hungers bei Clava nicht in erkennbarer Weise beeinflusst wurden. Wurden die während der Hungerperiode neu durch Knospung entstandenen Polypen dagegen nicht gefüttert, so traten auch bei ihnen, nachdem die Tentakeln entwickelt und die Mundöffnung zum Durchbruch gekommen war, alsbald die äusseren vorhin beschriebenen Hungermerkmale hervor (Knopfbildung und Verkürzung der Tentakeln bis zum Schwunde, Verschluss der Mundöffnung, Verkürzung des Körpers und endlich Zurückziehung der nicht zerfallenen Polypengewebe in die Hydrorhiza).

Da die hungernde Hydra sich nach meinen und anderen[1]) Beobachtungen in bezug auf die Knospung ganz anders verhält wie Clava, indem erstere unter dem Einfluss des Hungers bestehende Knospen wohl noch zur Ablösung bringt, neue aber nicht mehr bildet (E. Schultz), lag es nahe, den Grund zu dieser Verschiedenheit darin zu suchen, dass Hydra als eine solitäre Form weder

[1]) E. Schultz, Ueber Reduktionen. II. Ueber Hungererscheinungen bei Hydra fusca L. Archiv f. Entw.-Mech. Bd. 21. 1906.

einen Hydrokaulus noch eine Hydrorhiza besitzt, letztere aber Clava zukommt und hier der Sitz von Reservestoffen oder indifferentem Zellmaterial ist, welches imstande ist, den Knospungsprozess zu unterhalten und bis zur völligen Ausbildung durchzuführen, von welchem Momente an aber offenbar die Zufuhr aus der Hydrorhiza nicht mehr genügt, so dass Rückbildung der Knospe eintritt, wenn nicht die eigene Ernährung derselben ermöglicht wird.

Diese Auffassung der Hydrorhiza als Knospungsreserve scheint sich in der Tat zu bestätigen, denn ich fand im Januar und Februar zu einer Zeit, wo die Gonophorenbildung noch nicht eingesetzt hatte, eine grössere Anzahl von Kolonien, die fast wesentlich nur von der Hydrorhiza repräsentiert wurden, welche mit zahlreichen Peridermbechern besetzt war, die teils ganz leer, teils nur noch in ihrem basalen Teil gefüllt waren, also die basalen Enden rückgebildeter Polypen darstellten. Daneben waren winzige Polypen mit Mundöffnung und normalen Tentakeln vorhanden, die offenbar erst kürzlich durch Knospung neu entstanden waren. Diese Funde lassen den Schluss zu, dass mindestens ein Teil der Clavastöcke am Abschluss ihrer Vegetationsperiode eine Rückbildung erfährt, so dass sie zu dieser Zeit nur von der Hydrorhiza repräsentiert werden, aus der dann nach einer Ruheperiode, die im Fall der angeführten Stöcke etwa in die Monate Dezember und Januar fallen würde, die Kolonie durch Neuknospung von Hydranten wieder ersteht.

Um diese Rolle der Hydrorhiza noch weiter zu prüfen, beraubte ich die Clavapolypen ihrer Reserve, d. h. ich schnitt sie von der Hydrorhiza ab und unterwarf sie isoliert der Prozedur des Hungerns. Die Reduktionserscheinungen an abgeschnittenen Polypen sind nun genau dieselben, wie an jenen, die im Zusammenhang mit der Hydrorhiza stehen, d. h. die Tentakeln werden knopfförmig und verschwinden allmählich, die Mundöffnung schliesst sich und der nur noch einen glatten Schlauch darstellende Körper wird kürzer und kürzer. Aber nun fehlt ihnen die Hydrorhiza, in die sich die aktionsfähigen Zellen des Polypen zurückziehen können. Statt dessen schwillt der basale, peridermüberzogene Abschnitt des abgeschnittenen Polypen zu einem länglich runden, gelblichen Körper (Fig. 11) an, der, nachdem er die sämtlichen bei der Rückbildung des Polypen erhalten gebliebenen Gewebsteile aufgenommen, in allen Fällen eine völlig glatte Oberfläche und ein eiartiges Aussehen annahm.

Ich bezeichne diese Körper, die bei Clava jedenfalls in der freien Natur nicht vorkommen, mit andern Autoren als Reduktionskörper. Ich beobachtete nun solche Körper noch weiter, indem ich sie in Urschälchen isolierte und nur von Zeit zu Zeit das Wasser bei gleicher Temperatur erneuerte. Viele gingen infolge der grossen Hitze im Mai und Juni bei der Unmöglichkeit, das Wasser zu durchlüften, durch massenhaftes Auftreten von Infusorien zugrunde, allein in einem Falle konstatierte ich, dass ein solcher Reduktionskörper unter beträchtlicher Volumenzunahme von neuem einen Polypen (Fig. 12) entwickelte, der gefüttert werden konnte, bei Aufhören der Fütterung aber zum zweiten Male sich zu einem Reduktionskörper zurückbildete, der leider nach weiteren 8 Tagen infolge der Kulturschwierigkeiten zugrunde ging. Doch ist es mir durchaus nicht zweifelhaft, dass bei geeigneter Kultur sich dieser Vorgang so lange wiederholen würde, als der Reduktionskörper genügend Masse zur Bildung eines Polypen besitzt.

3. Hungerwirkungen bei anderen Hydroiden.

Nach Eugen Schultz vollziehen sich an der hungernden Hydra die gleichen von mir an Clava geschilderten Veränderungen (Hungerstellung, Knopfbildung, Verkürzung und Schwund der Tentakeln und des Mundes) bis zur Bildung eines planulaartigen Reduktionskörpers. Ich selbst konnte derartige Hungerzustände von Hydra fusca in zahlreichen Fällen beobachten (Fig. 1) und in Uebereinstimmung mit Schultz konstatieren, dass nach Auftreten der Hungermerkmale die bis dahin rege Knospung aufhörte. Auch planulaartige Reduktionskörper, allerdings von Hydren nach eben vollzogener geschlechtlicher Fortpflanzung habe ich beobachtet, ohne aber ebensowenig wie Schultz die Weiterentwicklung solcher bemerkt zu haben. Nichtsdestoweniger halte ich es auf Grund meiner Beobachtungen an Clava für durchaus möglich, dass auch der Reduktionskörper der Hydra neuer Entwicklung fähig ist.

Scheinbar ganz anders wie bei Clava und Hydra verlaufen die Hungererscheinungen bei Syncoryne sarsii. Schneidet man einen Hydranten mit einem Teil des angrenzenden Hydrokaulus ab und bringt ihn in filtriertes Seewasser, so bemerkt man lediglich eine Verkürzung der auch im normalen Tier geknöpften Tentakeln. Bevor aber noch die Tentakeln ganz in den Hydranten-

körper eingezogen sind, zerfällt der ganze Hydrant in eine feine körnige Masse, die in ihrer äusseren Form (Fig. 13) noch die Umrisse des Hydranten erkennen lässt. Alle aktionsfähigen Zellen ziehen sich aber in den Hydrokaulus zu einem zylindrischen Strange mit abgerundeten Enden zurück, der aus beiden Keimschichten und einem von ihm umschlossenen Gastralraum besteht. Ganz ähnlich verhält sich offenbar Campanularia nach Thasher[1]), deren Arbeit mir leider nur nach einem Referat bekannt ist. Das abweichende Verhalten beider letztgenannten Hydroiden erklärt sich meiner Ueberzeugung nach durchaus durch das besonders intensive Regenerationsvermögen derselben. Während die Regeneration bei Clava so langsam vor sich geht, dass innerhalb von 14 Tagen ein Hydrokaulus nach abgeschnittenem Köpfchen kaum 1—2 winzige Tentakelstummel erzeugt, setzt bei Syncoryne sofort nach dem Abschneiden eines Hydranten tragenden Zweigstückchens an der basalen Wundfläche eine so lebhafte Regeneration ein, dass manche meiner Versuchsobjekte binnen 8 Tagen ihren Hydrokaulus um das 4fache seiner ursprünglichen Länge (Fig. 14) verlängert hatten. Dabei findet dann eine weitgehende Verlagerung des Coenenchyms statt (Fig. 13, 14, 15), das sich aus dem alten Perisark, ja sogar aus grossen Strecken neu gebildeten Perisarks gegen die Regenerationsstelle zurückgezogen hat. Die Regenerationsstelle stellt einen Absorptionspunkt dar. Von dem Grade der Regenerationsenergie hängt es ab, ob der Hunger zu Erscheinungen führt, wie sie bei Clava oder andererseits bei Syncoryne beobachtet werden. Die Kontinuität der Reduktion von Clava vom Hydranten zum Reduktionskörper, resp. bis zum Verschwinden in der Hydrorhiza wird bei Syncoryne zu einer Diskontinuität, indem hier die Energie der Regeneration zu einer sofortigen Abfuhr der vom Zerfall verschont gebliebenen Zellen zur Regenerationsstelle Veranlassung gibt.

Auch bei Pennaria hat nach Gast und Godlewski[2]) der Hunger an abgeschnittenen Stammteilen neben den Veränderungen am Hydranten ein Zurückziehen des Coenenchyms zur Folge und genau dasselbe ist nach eigenen Versuchen, über die ich in einer weiteren Mitteilung zu handeln gedenke, bei

[1]) Thasher, Absorption of the hydranth in Hydroid Polyps. Biol. Bull. Woods Hole. Vol. 5. 1903.

[2]) Gast, R. u. Godlewski jun. E., Die Regulationserscheinungen bei Pennaria cavolinii. Arch. f. Entw.-Mech. Bd. 16. 1903.

Cordylophora der Fall, eine Erscheinung, die in beiden Beispielen auf die Lebhaftigkeit der an den Schnittstellen sich abspielenden Regenerationsvorgänge zurückzuführen ist. Die Versuche von Cordylophora ergaben, dass Kontakt eine Steigerung der Regenerationsenergie an der Kontaktstelle bewirkt und als Folge davon ist die Zurückziehung des Coenenchyms bei Kontakt der Schnittwunde eine bedeutend weitgehendere, wie ohne denselben. Auffallend ist, dass zum Unterschied von Clava und Hydra weder bei Pennaria (nach Gast und Godlewski[1])), noch nach meinen eigenen Beobachtungen an Cordylophora an den zylindrischen Tentakeln derselben irgendeine Geknöpftheit als Folge des Hungers auftritt, so sehr ich auch bei letzterer Spezies das Experiment variierte. Da nach Gast und Godlewski bei Pennaria die Rediuktion ebenfalls an den Tentakelspitzen beginnt und dasselbe nach meinen Beobachtungen bei Cordylophora der Fall ist, da ferner bei Clava unter besonderen, S. 12 dargelegten Bedingungen eine natürliche physiologische Reduktion auftritt, bei der die Rückbildung der Tentakeln ebenfalls unter einfacher Verkürzung derselben verlaufen kann, so muss das äussere Reduktionsbild der Tentakeln noch von besonderen Bedingungen abhängig sein. Welcher Art diese jedoch sind, dürfte um so schwieriger festzustellen sein, als bei dieser physiologischen Reduktion von Clava die einfache Verkürzung der Tentakeln neben der Reduktion unter Knopfbildung vorkommt. Vielleicht mag die Bearbeitung der Schnittbilder mir Anhaltspunkte an die Hand geben.

4. Blastostylbildung durch Hunger.

Unterwirft man Individuen, welche unterhalb ihrer Tentakelzone mit Gonophoren besetzt sind, gleichviel ob im Zusammenhang mit der Hydrorhiza oder abgeschnitten, der Prozedur des Hungerns, so treten zunächst die gleichen Erscheinungen ein wie bei den Polypen ohne Gonophoren (Knopfbildung und Verkürzung der Tentakeln bis zum Schwunde, Schluss der Mundöffnung, Auftreten eines Reduktionspunktes in der Proboszis). Während aber bei der Reduktion der gonophorenlosen Hydranten der Reduktionspunkt der Proboszis lange Zeit, vielfach bis kurz vor dem Verschwinden

[1]) l. c.

des reduzierten Polypen in den Peridermbechern (Fig. 5—8) erhalten bleibt, schwindet er bei den gonophorentragenden Hydranten (Fig. 9) früh, offenbar weil hier die Reduktionsmassen sofort innerhalb der Gonophorenzone verwandt werden, wie schon daraus erhellt, dass die Geschlechtsprodukte trotz des Hungers von einem gewissen [1]) Entwicklungsstadium an an Grösse zunehmen, reifen und sich zu Planulae entwickeln, falls nur dafür gesorgt wird, dass neben einer weiblichen im selben Behälter auch eine männliche Kolonie der Hungerprozedur ausgesetzt wird. Ja sogar neue Gonophoren können, wenn auch vereinzelt, während des Hungers entstehen, wenn sie auch ihre Ausbildung nicht erreichen.

Jedenfalls stellt also die Gonophorenzone der Clava ein Absorptionsgebiet dar, das alles durch die Reduktion der Tentakeln und der Proboszis frei werdende Material anzieht, um möglichst die Keimzellen ihrer Reife entgegenzuführen und den durch Neuknospung von Gonophoren entstehenden Stoffverbrauch zu decken.

So wandeln sich infolge der Vorenthaltung der Nahrung normale, mit Mund und Tentakeln versehene, gonophorentragende Hydranten in mundlose Blastostyle (Fig. 9) um, die zylindrische Schläuche darstellen und am oberen, geschlossenen Ende mit einem Kranze von Gonophoren versehen sind. Diese künstlich erzeugten Blastostyle unterscheiden sich aber in nichts von jenen als ständige und natürliche Erscheinungen bei polymorphen Hydroiden vorkommenden.

5. Durch Hunger erzeugter Atavismus.

Die Gonophorenbildung wird nach Harm durch das Auftreten halbkugeliger Vorwölbungen der Körperwand eingeleitet, die den „Gonophorenstamm“ bilden, an dem erst die kugeligen Gonophoren selbst durch Knospung entstehen. Nach Harm [2]) kann der Gonophorenstamm als eine „reduzierte Blastostylbildung“ aufgefasst werden, obwohl ein Beweis für diese Ansicht

[1]) Ganz junge Gonophorenanlagen bilden sich zurück, indem ihre Keimzellen in den Hydrantenkörper zurücktreten. Die nächst älteren zerfallen, während alle späteren durch den Hunger in ihrer Entwicklung nicht oder wenig gestört werden.

[2]) Harm, K., Die Entwicklungsgeschichte von Clava squamata. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 73 1902.

nicht beigebracht wird. In der Tat sind auch Weismann[1]) und Goette[2]) anderer Ansicht, indem sie diesen Gonophorenstamm für eine sekundäre Bildung halten, und ihn nur aus einer Anhäufung von Gonophorenknospen entstehen lassen, deren eigentliche Träger die Hydranten selbst sind. Meine eigenen Beobachtungen zeigten mir, dass Harm ganz richtig beobachtet hat, und der Gonophorenstamm oder der Gonophorenträger, wie ich ihn im Gegensatz zu den Stielen der einzelnen Gonophoren nenne, eine primäre Ausstülpung ist, die sich erst nachträglich mit den einzelnen Gonophorenknospen bedeckt.

An gonophorentragenden Hungertieren habe ich nun in einer ganzen Reihe von Fällen die Beobachtung machen können, dass der Gonophorenträger nach der Ausstossung der Geschlechtsprodukte, in manchen Fällen auch schon vor der Reifung der letzten Gonophoren zu einem Polypen auswuchs, der eine Anzahl von Tentakeln entwickelte, eine Mundöffnung besass und bei Fütterung Nahrung aufnahm. So zeigt Fig. 10 einen solchen Hungerpolypen, dessen Proboszis noch erhalten ist, dessen Tentakeln aber unter den früher geschilderten Erscheinungen geschwunden sind und der nun in seiner Circumferenz aus den Gonophorenträgern drei kleine, mit langen, fadenförmigen Tentakeln und Mundöffnung versehene Polypen erzeugt hat, deren jeder noch einen Kranz kleiner Gonophoren trägt, während andere ältere nach Reifung ihrer Geschlechtszellen geschwunden sind.

Wie ist diese Neubildung aufzufassen?

Bestände die Weismann-Goettesche Ansicht von der sekundären Entstehung der Gonophorenträger zu Recht, so könnte man in dem Auftreten von Tochterhydranten innerhalb der Gonophorenzone nur eine Heteromorphose sehen.

Da aber die Gonophorenträger in der Tat primäre Bildungen sind, so ist die einzig natürliche Auffassung die, dass die Gonophorenträger rückgebildete Polypen, d. h. Blastostyle sind, die durch die Belastung mit Gonophoren resp. Keimzellen in ihrer Entwicklung gehemmt wurden und nun nach Aufhören der Hemmung die Weiterentwicklung zum Hydranten vollenden. Diese

---

[1]) Weismann, A., Die Entstehung der Sexualzellen bei den Hydromedusen. Jena 1883.

[2]) Goette, A., Vergleichende Entwicklungsgeschichte der Geschlechtspersonen der Hydroidpolypen. Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. 87. 1907.

Deutung des experimentellen Ergebnisses zieht aber die weitere Folgerung nach sich, dass unsere Clava Vorfahren besessen haben muss, welche unterhalb ihres Tentakelkranzes einen Kranz von Tochterhydranten erzeugten, die infolge des im Laufe der Stammesgeschichte immer frühzeitigeren Einrückens der Keimzellen[1]) allmählich zu Blastostylen degradiert wurden. Eine gute Vorstellung von dieser Vorfahrenform gibt uns die eigenartige Gattung Myriothela[2]) unter den Coryniden, bei der ebenso wie bei Clava die Gonophorenbildungszone unter der Tentakelzone gelegen ist, die Gonophoren aber von Blastostylen erzeugt werden, die noch genau dem Haupthydranten gleichen, ebenfalls mit Tentakeln versehen sind, nur dass sie geringere Grösse besitzen und bereits die Mundöffnung eingebüsst haben.

Die Beweiskraft des experimentellen Befundes wird noch dadurch erhöht, dass ich Anfang August d. J. auch unter frisch in See gefischtem Material eine Clava am Schlusse der Gonophorenbildung auffand, bei der ebenfalls die Gonophorenträger stark verlängert waren, einer derselben aber ebenfalls Tentakeln entwickelt, also sich in einen Hydranten umgewandelt hatte. Damit ist bewiesen, dass die Fortentwicklung des Blastostyls zum Hydranten nach Befreiung von den Keimzellen auch in freier Natur vorkommt.

Uebrigens beobachtet man sowohl an Hungertieren wie in der freien Natur, dass vielfach nach Abstossung der Hauptmasse der Gonophoren auch die Stiele der letzteren, mit denen sie dem Träger anhaften, zu längeren, zylindrischen Schläuchen auswachsen, die häufig an ihrer Spitze noch das reife, larvenerfüllte Gonophor tragen. In keinem Falle entwickelten sich diese Gonophorenstiele zu Hydranten.

6. Hunger als Ursache von Polymorphismus.

Vorenthaltung der Nahrung führt bei Clava zur Blastostylbildung. Da der Hunger die Neuknospung von Hydranten aus

---

[1]) Die im Laufe der Stammesgeschichte erfolgte, immer frühzeitigere Einwanderung der Keimzellen ergibt sich ausser aus den bekannten Weismannschen Darlegungen auch aus der Tatsache, dass die Gonophoren von Clava rückgebildete Medusen sind, die Rückbildung freier Medusen zu Gonophoren aber, wie wir unten sehen werden, lediglich dem frühzeitigen Eintritt resp. dem schnelleren Wachstum der Keimzellen zuzuschreiben ist.

[2]) Allman, On the structure and development of Myriothela. Philos. Transact. 1875.

der Hydrorhiza nicht unterbricht, die neu entstandenen Polypen aber infolge ihres Besitzes von Mundöffnung und Tentakeln bei Fütterung Nahrung aufnehmen und heranwachsen, während die gonophorentragenden Blastostyle die Befähigung zur Nahrungsaufnahme verloren haben, so sind damit auf experimentellem Wege polymorphe Kolonien entstanden.

Das Experiment gestattet also den Schluss, dass in Fällen, wo Blastostylbildung bei polymorphen Hydroiden als natürliche und regelmässige Erscheinung auftritt, diese durch Faktoren veranlasst wird, welche in gleichem Sinne wirken, wie Nahrungsentziehung.

Bei Clava sind bisher unter natürlichen Verhältnissen auftretende Reduktionserscheinungen noch nicht beobachtet, nichtsdestoweniger kommen sie vor und zwar recht häufig. Bereits im März, also zu einer Zeit, in der die Gonophorenbildung soeben begonnen hat, beobachtete ich sie in allerdings sehr vereinzelten Fällen. Diese mehrten sich aber wesentlich mit dem Fortschritt der Gonophorenbildung und nach meinem mündlichen Vortrag konnte ich im Juli und August sogar eine sehr grosse Anzahl solcher natürlichen Reduktionen (vgl. hierzu S. 8) beobachten, die ebenfalls Blastostylbildung im Gefolge hatten. Hervorgehoben muss werden, dass alle Kolonien, welche an einzelnen, mehreren oder sämtlichen Individuen Reduktionserscheinungen zeigten, stets frisch nach dem Fang, in einem Falle noch auf See, konserviert wurden, so dass eine Nebenwirkung von Nahrungsmangel ausgeschlossen war.

Da im Falle von Clava die Steigerung der Reduktionserscheinungen unverkennbar mit dem Fortschritt der Gonophorenbildung Schritt hält, sehe ich in der Gonophorenbildung selbst die Ursache der natürlichen oder physiologischen Reduktionserscheinungen. Die ursächliche Wirkung der Gonophorenbildung zerlegt sich jedoch in zwei Komponenten: 1. in den Knospungsvorgang als solchen, 2. in die Wirkung der eingewanderten Keimzellen.

ad 1. Dass die Neuknospung von Individuen die bestehenden älteren beeinflussen muss, ergibt sich notwendig aus der Ueberlegung, dass durch Neuknospung einer Person den bereits bestehenden ein bestimmtes Quantum von Nährstoffen entzogen wird, das ihnen andernfalls zugekommen wäre. Auf Grund von Experimenten, die den Gegenstand einer weiteren Mitteilung bilden sollen, kann ich zeigen, dass eine an einem hungernden Stock von

Cordylophora neu auftretende Hydrantenknospe eine Bewegung des benachbarten Coenenchyms in der Richtung auf die Knospe veranlasst, die auf ein förmliches Ansaugen des Coenosarks und der beim Hunger entstandenen Zerfallsprodukte seitens der Knospe schliessen lässt, ein Ergebnis, dass sich auch an der Hand einer genauen Untersuchung frisch gefangener, in bester Vegetation stehender Stöcke von Cordylophora wie von Gonothyraea bestätigen liess. Können aber die geformten Bestandteile des Coenosarks durch die Knospe bewegt und angesogen werden, so dürfen wir das wohl mit einem hohen Grad von Sicherheit auch von den flüssigen Nährstoffen annehmen.

Dieselben Versuche zeigen aber ferner, dass ein an einem hungernden Stock neu knospender Hydrant eine Lebensdauer besitzt, die zwischen 23 und 27 Tagen schwankt, wenn dieser Hydrant der einzige bleibt, dass aber die Lebensdauer, d. h. der Zeitpunkt, bis zu welchem seine Reduktion eintrat, auf 3—13 Tage herabgesetzt wurde, wenn dieser Hydrant einen Konkurrenten infolge weiter auftretender Hydrantenknospen erhielt. So wirkt also das Auftreten neuer Hydranten an solchen Hungerstöcken reduzierend auf vorher bestehende.

Ganz ebenso wie die Neuknospung von Hydranten muss natürlich auch die schnell aufeinander folgende Knospung von Medusen auf benachbarte Hydranten wirken. Bei unmittelbar nach Fang untersuchten Stöcken von Syncoryne sarsii fand ich eine ganze Reihe von Fällen, in denen gegen das Ende der Knospungsperiode der knospende Hydrant auf den verschiedensten Reduktionsstadien bis zum einfachen mund- und tentakellosen Blastostyl angetroffen wurde und ähnliche Fälle sind von älteren Autoren auch für andere Syncoryne-Arten mitgeteilt worden. Da nun aber bei Syncoryne freie Medusen erzeugt werden und die Keimzellen ihre Wachstumsperiode erst nach Ablösung der Medusen beginnen, kann die reduzierende Wirkung der knospenden Medusen auf den erzeugenden Polypen wesentlich nur von dem Knospungsprozess als solchem bedingt werden.

Da nun bei Clava die Gonophorenknospung viel massenhafter erfolgt und auf einen kürzeren Zeitraum zusammengedrängt ist als bei Syncoryne, ist es wohl als sicher anzunehmen, dass bei der beobachteten natürlichen Reduktion der Clava-Hydranten der Knospungsprozess als solcher eine mitwirkende Rolle spielt.

ad 2. Wie äusserer Nahrungsmangel und die besprochenen Knospungserscheinungen vermögen nun auch die Keimzellen infolge ihres Wachstums zu wirken. Bei ihrer bekannten Unabhängigkeit von den Geweben stehen sie mehr oder weniger in dem Verhältnis von Parasiten zu dem Gesamtorganismus. Sie entziehen bei ihrem schnellen Wachstum den benachbarten Geweben eine Menge von Nährstoffen, die nicht immer in gleichem Masse gedeckt werden können, erzeugen also ebenfalls einen physiologischen Hungerzustand, der seine reduzierende Wirkung sogar auf entferntere Teile des Stockes ausdehnen kann.

Auf sich entwickelnde Hydranten im Knospenzustand macht sich der Einfluss der Keimzellen als eine hemmende bemerkbar, wie die neuerdings von Goette[1]) diskutierten Beispiele (Podocoryne, Eudendrium) sowie die von mir geschilderten Erscheinungen am Gonophorenträger von Clava beweisen, der infolge der Einwanderung und des Wachstums der Geschlechtszellen an seiner Entwicklung zum Hydranten gehindert wird, diese aber wieder aufnimmt und vollendet, sobald die Hemmung aufhört, d. h. sobald er durch Reifung und Abstossung der Keimzellen von diesen befreit wird.

Aber auch auf fertige Hydranten üben die wachsenden Keimzellen einen nicht minder kräftigen Einfluss aus. Bei zahlreichen Hydroiden, bei denen die Geschlechtszellen am Stocke selbst reifen, beobachtet man beim Fortschritt der Gonophorenbildung eine fortschreitende Reduktion der Hydranten. Um ein Beispiel zu nennen, führe ich Gonothyraea an, bei der auf der Höhe der Gonophorenbildung die gesamten terminalen, über der Gonophoren bildenden Zone gelegenen Hydranten eine Rückbildung erfahren, so dass es nach meinen jahrzehntelangen Erfahrungen selten ist, Stöcke zur Kurszwecken zu erlangen, welche neben reifen Gonophoren auch wohlentwickelte Hydranten besitzen. Dass hier neben der Knospung der Gonophoren das Wachstum der Keimzellen die wichtigste Rolle spielt, geht daraus hervor, dass die Reduktion erst ihre grösste Intensität erlangt, wenn bereits die Knospenbildung wesentlich abgeschlossen ist und nur noch das schnelle Heranwachsen der zahlreichen Keimzellen in Frage kommt.

Werden wie bei Clava die Gonophoren am Hydranten selbst erzeugt, so kann die reduzierende Wirkung der Keimzellen auch

[1]) l. c.

in freier Natur zur Blastostylbildung führen, wie die oben an frisch gefangenen Clava-Stöcken festgestellten Befunde beweisen.

Haben wir im vorstehenden erkannt, dass Nahrungsentziehung, Knospung und Anwesenheit wachsender Keimzellen ihre reduzierende und Gestalt verändernde Wirkung durch Erzeugung eines physiologischen Hungerzustandes ausüben, so gehe ich nur einen Schritt weiten, wenn ich als Arbeitshypothese den Satz aufstelle, dass alle Faktoren, welche die Fähigkeit besitzen, unter gewissen Umständen einen solchen Gewebshunger zu erzeugen, auch reduzierend wirken müssen und als Ursachen für den Polymorphismus der Hydrozoen in Frage kommen. Als solche Faktoren müssen wie die Keimzellen alle solche Gewebselemente wirken, welche, ohne selbst eine positive Bedeutung für den Gesamtstoffwechsel zu besitzen, nur Nährsubstanz verbrauchen. Ihre reduzierende Wirkung wird natürlich nur dann sich bemerkbar machen, wenn sie in irgendeiner Hydroidenperson in übermässiger Weise angehäuft, hypertrophisch entwickelt sind.

Eine solche Wirkung dürfte z. B. die massenhafte Anhäufung von Nesselkapseln zur Folge haben, deren Bildungszellen bekanntlich denselben Grad von Unabhängigkeit wie die Keimzellen den übrigen Gewebselementen gegenüber besitzen, wie ihr Wanderungsvermögen beweist und die, wie die Eizellen durch Anhäufung von Dotter, durch Produktion ansehnlicher Sekretmengen den Geweben eine Menge gelöster Nährstoffe entziehen. Die Umwandlung der Nesselkapsel gespickten Randpolypen von Hydractinia und Podocoryne zu Blastostylen würde hiermit erklärt sein.

Wenn die wachsenden Keim- und Nesselkapselbildungszellen wie Parasiten auf Kosten der übrigen Gewebe sich entwickeln, so ist es nicht wunderbar, dass echte Parasiten ähnliche Reduktionen der befallenen Hydroidenindividuen bewirken, wie die bekannten Fälle der Infektion mit Pycnogoniden beweisen (Reduktion zu einem mund- und tentakellosen Schlauch).

Meine Hypothese berücksichtigt nicht nur die Reduktion der Hydranten, sondern erlaubt ohne weiteres ihre Anwendung auch auf die Medusenperson. Dass auch die Meduse wandlungsfähig ist, beweist ein Blick auf die medusoiden Personen der Siphonophoren. Für die Hydromeduse im engeren Sinne könnte ihre Wandelbarkeit vielleicht seitens solcher Forscher bestritten werden,

welche die Gonophoren als werdende Medusen betrachten. Deshalb nehmen wir Meduse und Gonophor voraussetzungslos als gegeben an.

Ueberblicken wir nun alle Fälle, in denen die Medusen zur Ablösung kommen, so ergibt sich die Tatsache, dass im Moment der Ablösung ihre Keimzellen entweder noch ganz fehlen, jedenfalls aber noch so winzig sind, dass für ältere Autoren vielfach die Möglichkeit ihres Nachweises fehlte. Mit anderen Worten: bei Hydroiden mit frei werdenden Medusen fällt die ganze Wachstumsperiode der Keimzellen mit ihrer hohen Anforderung an Ernährung erst in das frei schwimmende Stadium, so dass die Entwicklung der Meduse am Stock ohne Beeinträchtigung durch die Keimzellen vor sich gehen konnte. Bei allen Formen mit sessilen Gonophoren, mögen diese sogenannte Sporosaks sein oder mehr oder weniger Medusencharakter besitzen, sehen wir die Keimzellen schon von den frühesten Knospungsstadien an schnell an Grösse zunehmen, so dass Gonophorenknospung und Wachstumsperiode der Geschlechtszellen zeitlich zusammenfallen, hier also eine energische Einwirkung der wachsenden Keimzelle auf die Knospe nicht nur möglich, sondern nach dem, was uns die Hydranten gelehrt haben, mit Sicherheit zu erwarten ist. Erkennt man diese Ueberlegung als richtig an, so kann man nicht mit Goette die Gonophoren als werdende, sondern nur als rückgebildete Medusen ansehen, deren Rückbildung dem frühzeitigeren Beginn der Wachstumsperiode der Keimzellen zuzuschreiben ist.

Damit soll keineswegs gesagt sein, dass alle Gonophoren als rückgebildete Medusen aufzufassen sind. Vielmehr gibt es einige, zu denen die Gattungen Hydra, Cordylophora und die von Agassiz[1]) geschilderte Gattung Rhizogeton zu zählen sind, welche unsere heutige positive Kenntnis nur als Hydranten resp. reduzierte Hydranten anzuerkennen erlaubt. Für Hydra liegt diese Auffassung auf der Hand, für Rhizogeton und Cordylophora ausser in dem einfachen Bau des Gonophors darin begründet, dass dasselbe nach Entlastung von den Keimzellen sich bei Rhizogeton häufig, bei Cordylophora in einem Falle (Allman[2])) zum Hydranten weiter entwickelte.

---

[1]) Agassiz, L., Contributions to the Natural History of the United States of America. Vol. 4. 1862.

[2]) Allman, A Monograph of the Gymnoblastic or Tubularian Hydroids. Ray Soc. 1871 72.

Erkennt man den hemmenden und reduzierenden Einfluss der wachsenden Keimzellen an, so ist damit zugleich die Auffassung einer der letztgenannten Formen als eine werdende Meduse ausgeschlossen, denn eine Meduse kann sich nur entwickeln, wo der hemmende Einfluss der Keimzellen noch fehlt. Aus diesem Gedankengange heraus komme ich auf ganz anderem Wege zu einer an Boehm[1]) sich anlehnenden Auffassung der Hydroiden und betrachte den Hydranten lediglich als eine Larvenform, die entgegen den frei schwimmenden Larven der Narco- und Trachomedusen und in Uebereinstimmung mit denen der Scyphomedusen sich früher oder später festgeheftet hat und wie diese mit der Fähigkeit weitgehender ungeschlechtlicher Vermehrung ausgerüstet ist. Die Meduse, vielleicht vermittelt durch Zwischenstadien, wie sie heute noch die Gattung Clavatella (Fig. 18) aufweist, bildete den Endpunkt der individuellen Entwicklung und brachte erst nach Loslösung die Keimzellen zur Ausbildung. Indem nicht alle Individuen die definitive Entwicklung erreichten, entstand der bekannte Dimorphismus von Hydrant und Meduse nicht als ein Dimorphismus zwischen Geschwistern (Boehm), sondern als ein solcher zwischen Larve und Adult.[2]) Gonophoren von medusoidem Typus entstanden infolge Keimstättenverlagerung, frühzeitigerer Anlage und frühzeitigerem Beginn der Wachstumsperiode der Keimzellen durch Reduktion. Bei Formen wie Hydra, Cordylophora und Rhizogeton haben wir es aber mit geschlechtsreif gewordenen Larvenformen zu tun, bei denen infolge der gewiss vorteilhaften Rückwärtsverlegung und Beschleunigung des Keimzellenwachstums das Medusenstadium nicht mehr erreicht wird.

Uebrigens gibt es für die Auffassung der medusoiden Gonophoren als rückgebildete Medusen noch direkte Beweise, die auf positiven Beobachtungen seitens der älteren Klassiker der Hydroidenforschung beruhen. Es mag in dieser Mitteilung genügen, die Angaben von L. Agassiz[3]) in seiner Monographie von Syncoryne mirabilis anzuführen, in denen festgestellt wird, dass der Polyp, für gewöhnlich sich loslösende Medusen mit langen Tentakeln

---

[1]) Boehm, R., Helgoländer Leptomedusen. Jen. Zeitschr. f. Naturw. Bd. 12. 1878.

[2]) Eine solche Auffassung lässt es als durchaus selbstverständlich erscheinen, dass die Meduse nur ihresgleichen, der Polyp aber sowohl Hydranten wie Medusen durch Knospung erzeugt.

[3]) l. c.

ohne erkennbare Geschlechtszellen erzeugend, gegen das Ende der Medusenknospung nur noch sessile Gonophoren mit Eiern und Spermatozoen in allen möglichen Entwicklungsstadien produziert, von denen viele ihre Eier bereits ausgestossen hatten. Die Gonophoren zeigten den medusoiden Charakter, liessen jedoch Reduktionszustände erkennen, die z. T. genau mit denen übereinstimmen, die ich durch Nahrungsentziehung an den Clava-Hydranten erzielte: Verlust der Mundöffnung, Rückbildung der Tentakeln, die auf den verschiedensten Reduktionsstadien angetroffen wurde, während die Proboszis, in ihren Wandungen mit Geschlechtsprodukten vollgepfropft, zu enormer Grösse anschwillt und die ganze Glockenhöhle ausfüllt, so dass in den trefflichen Abbildungen des Autors die Glockenhöhle vielfach zu einem Spaltraum eingeengt erscheint.[1]) Ich kann mir in der Tat keinen besseren Beweis für die Auffassung des Gonophors von medusoidem Typus als eine rückgebildete Meduse denken und auch die Ursache dieser Rückbildung liegt hier so klar wie nur möglich zutage. Gegen das Ende der Brunstzeit fällt die Wachstumsperiode der Keimzellen mit der Medusenknospung zusammen, so dass auch hier die Nährstoff bedürftigen Geschlechtsprodukte ihren reduzierenden Einfluss ausüben können, der sich nicht nur auf die Medusenknospe selbst, sondern in manchen Fällen auch auf den erzeugenden Hydranten erstreckt, diesen zu einem Blastostyl umwandelnd, wie ich es für Syncoryne sarsii schilderte.

Ganz ähnliche Angaben wie Agassiz für Syncoryne mirabilis macht Lovén[2]) über seine Syncoryne ramosa (= Syncoryne sarsii) und M. Sars[3]) über Podocoryne carnea.

Auch die nahe verwandten Campanularia caliculata Hincks und Eucopella[4]) campanularia Lendenf., deren

[1]) Dass hier das Magenrohr nicht reduziert, sondern im Gegenteil hypertrophisch wird, hat natürlich darin seinen Grund, dass es bei Syncoryne gerade der Sitz der resorbierenden Keimzellen ist; auf S. 19 werden wir an der Meduse von Campanularia caliculata, deren Gonaden im Verlauf der Radiärgefässe liegen, sehen, wie infolge desselben resorbierenden Einflusses der Keimzellen das Magenrohr sogar restlos reduziert wird.

[2]) Lovén, S. L., Bidrag till Kännedomen af slägtena Campanularia och Syncoryna. Svensk. Vetensk. Acad. Handl. 1835.

[3]) Sars, M., Fauna littoralis norvegiae. 1846.

[4]) Beide Gattungen sind nach dem Zeugnis aller Autoren so nahe miteinander verwandt, dass ihre Vereinigung zu einer Gattung, resp. die Einreihung der Lendenfeldschen Gattung in das Genus Campanularia dringend gerechtfertigt ist.

Biologie erst in neuerer Zeit durch Hartlaub[1]), Giard[2]), Lendenfeld[3]) und Goette[4]) aufgeklärt wurde, gehört in diese Beweisgruppe. Beide produzieren freie Medusen, die nun eine höchst interessante Ausnahme von der Regel bilden, indem die Wachstumsperiode der Keimzellen bereits im frühen Knospenstadium beginnt (Fig. 16) und im Moment der Ablösung der Meduse vollständig abgeschlossen (Fig. 17) ist, so dass die junge Meduse sofort nach dem Freiwerden die reifen Geschlechtszellen ausstösst. Für diese Ausnahme gilt aber ganz besonders, dass sie die Regel erst recht bestätigt, denn die freie Meduse hat durch die Wirkung der wachsenden Keimzellen Mundöffnung, Magenrohr und Tentakeln eingebüsst, erstere beiden durch eine im Moment der Einwanderung der Keimzellen in die Knospe einsetzende Hemmung, wie aus den Angaben Lendenfelds hervorgeht, letztere infolge von Reduktion, denn Goette hat die Anlage der Tentakeln selbst beobachtet. Goette hat Schwierigkeiten, sich diese Reduktion der Tentakeln zu erklären, da nach seiner Ansicht die Tentakeln doch in keiner Beziehung zu den Geschlechtsorganen stehen — aus meinen Versuchen und Ausführungen geht aber gerade im Gegenteil hervor, dass zwischen Geschlechtsorganen einerseits und Tentakeln, Proboszis (Magenrohr) und Mundöffnung andererseits eine sehr enge Korrelation besteht und frühzeitiger Beginn der Wachstumsperiode der Keimzellen den Verlust der genannten Organe nach sich zieht.

Campanularia caliculata, die erstere der beiden Gattungen, zeigt dann nach Giard[2]) noch die weitere Eigentümlichkeit, dass ihre Meduse sowohl frei werden wie sitzen bleiben kann. In Wirklichkeit ist diese sogenannte Meduse gar keine solche, sondern ein Medusoid im Sinne Chuns und die Sachlage die, dass wir hier den einzigartigen Fall vor uns haben, wo ein medusoides Gonophor unter Umständen sich ablösen kann.

Sollten nun dieselben Ursachen, welche den Polymorphismus bei den Hydroiden in erster Linie erzeugten, nicht auch dieselbe Erscheinung bei den Siphonophoren veranlasst haben? Es wäre

---

[1]) Hartlaub, Die Hydromedusen Helgolands. Wiss. Meeresuntersuch. Biol. Anstalt Helgoland. N. F. Bd. 2. 1897.

[2]) Giard, Sur l'éthiologie du Campanularia caliculata Hincks. C. R. Soc. Biol. Paris [10]. Bd. 5. 1899.

[3]) Lendenfeld, R. v., Ueber Coelenteraten der Südsee. IV. Eucopella Campanularia nov. gen. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 38. 1883.

[4]) Goette, A., l. c.

in der Tat wunderbar, wenn das nicht der Fall wäre. Für die Geschlechtspersonen gilt hier sicher genau das Gleiche, was eben über die Reduktion der freien Hydromeduse zum Gonophor gesagt wurde, während die Hypertrophie der Muskulatur der Schwimmglocken in der gleichen Weise wie die Belastung mit Keimzellen den zur Reduktion führenden Hungerzustand erzeugt haben mag. In derselben Weise konnte auch die stark betonte sekretorische Tätigkeit der Gasflaschen, für andere Personen die massenhafte Anhäufung von Cnidoblasten oder von nervösen[1]) Elementen gewirkt haben. Dass auch die Polypen und Taster nicht von Hause aus tentakellos waren, scheint mir aus der Beobachtung Woltereckes[2]) hervorzugehen, dass die junge Velella-Larve Tentakeln besitzt, die später durch Reduktion wieder verloren gehen. Für diese Reduktion muss eine unmittelbare Veranlassung in Strukturverhältnissen der Larve gegeben sein. Das alles sind natürlich lediglich Vermutungen, die ich aber glaubte nicht unterdrücken zu sollen, weil sie vielleicht verdienen, bei weiterer Siphonophoren-Forschung in Rücksicht gezogen zu werden.

Wenn ich zusammenfassend alle diejenigen Faktoren, welche imstande sind, einen physiologischen Hungerzustand zu erzeugen, als die direkte Ursache von Reduktionen und Hemmungen, und damit als die wesentlichste Ursache des Polymorphismus der Hydromedusen in Anspruch nehme, so ist damit keineswegs gesagt, dass neben dieser physiologischen Ursache nicht noch rein physikalische und chemische Faktoren eine Rolle spielen können. Was die ersteren anlangt, so übt z. B. Kontakt sicher einen reduzierenden Einfluss aus, wenn wir sehen, dass das basale Ende eines abgeschnittenen Hydroidenstöckchens bei freier Aufhängung einen Hydranten erzeugt, bei Kontakt aber einen blind geschlossenen, zur Hydrorhiza werdenden Stolo. Ebenso wäre

[1]) Dass auch das Nervensystem einen stark resorbierenden Einfluss ausüben muss, geht ohne weiteres aus den bekannten Hungerversuchen an Wirbeltieren hervor, bei denen selbst nach längerer Hungerperiode das Nervensystem keine nennenswerten Verluste erfährt. Wenn das bei der Muskulatur auch umgekehrt ist, so handelt es sich bei den Versuchen stets um erwachsene Tiere. Jugendliche Muskelzellen, bei denen die Fibrillenbildung noch in lebhaftem Gange ist, dürften sich genau wie das Nervensystem oder wie Keim- und Nesselkapselbildungszellen verhalten.

[2]) Woltereck, R., Bemerkungen zur Entwicklung der Narcomedusen und Siphonophoren. Verhandl. Deutsch. Zool. Gesellsch. Leipzig 1905.

denkbar, dass die von der jungen Velella-Pneumatophore aufgenommene Luft rein physikalisch Gestalt ändernd wirkte. Unter den chemisch wirkenden Einflüssen hätten wir zunächst an die im Meerwasser gelösten Salze zu denken. Sicher gibt es aber noch andere chemische Einflüsse, die allerdings erst sekundär durch erfolgte Reduktionen ausgelöst werden können und in der durch den Zellzerfall bedingten Veränderung der Stoffwechselprodukte bestehen, die vielleicht imstande wären, selbst auf weitere Entfernungen hin Korrelationserscheinungen zu bewirken. Das sind jedoch Fragen, deren Beantwortungsmöglichkeit sicher erst in weiter Ferne liegt.

Welche Rolle spielt denn nun jenes berühmte Prinzip, die Arbeitsteilung, der man bisher die gesamten Erscheinungen des Polymorphismus auf das Konto zu schreiben gewohnt war? Sicherlich hat die Arbeitsteilung ihre grosse Bedeutung, aber ebenso sicher ist, dass ihre Einwirkung immer nur eine mittelbare sein kann. Ohne allen Zweifel kann sie mit ihren Einflüssen erst einsetzen, wenn erst einmal, sei es durch individuelle Variation, sei durch genetische oder sonstige Verhältnisse bedingt, eine morphologische Differenz zwischen den Individuen entstanden ist, die so weit geht, dass sie wenigstens eine gewisse Verschiedenheit der Betätigung gestattet. Dann aber ergibt sich ein gewisser Grad der Teilung der Arbeit ganz von selbst, ohne dass hier von einem zur Anwendung kommenden Prinzip gesprochen werden kann. Ist dann aber eine gewisse Differenz in der Betätigung der Individuen eingetreten, dann schafft diese Hypertrophien, die vermöge der dadurch bedingten Hungerzustände in den weniger stark resorbierenden Geweben Reduktionen erzeugen, die, wie wir gesehen haben, bei den Hydromedusen zu weitgehenden Veränderungen der Körpergestalt führen.

Im Falle der Hydromedusen war die erste Möglichkeit einer Arbeitsteilung gegeben, als an dem frei schwimmenden oder festgehefteten Larvenstock aus gewissen Gründen einige Individuen die Umwandlung zur sich ablösenden Meduse nicht mitmachten und so eine genetisch begründete Gemeinschaft von larvalen und ausgebildeten Individuen entstand. Der Dimorphismus zwischen Polyp und Meduse hat also ganz andere Ursachen, als der Polymorphismus, den wir an jeder einzelnen dieser beiden Personen konstatieren. Daraus folgt dann auch, dass die Arbeitsteilung an der Schaffung dieses

Dimorphismus gar keinen Anteil hat. Die Arbeitsteilung setzte erst nach Entstehung dieses Dimorphismus ein, und hat vielleicht nur dazu geführt, ihn in der Stammesgeschichte zu befestigen und extremer zu gestalten. Der Polymorphismus jeder dieser beiden Personen konnte nur durch individuelle Variation beider eingeleitet werden, die die Möglichkeit weiterer Arbeitsteilung schuf. Hatte dann diese Platz gegriffen, so wirkte sie nur durch das Mittel jener Faktoren, die den Gegenstand dieser Abhandlung bilden.

Erklärung zu Tafel 23.

Fig. 1. Hydra fusca. Hungerform.

Fig. 2—8. Clava squamata. Aufeinander folgende Hungerstadien von gonophorenfreien Hydranten.

Fig. 9. Clava squamata. Blastostyl mit Gonophoren durch Nahrungsentziehung erzielt.

Fig. 10. Clava squamata. Hungernder gonophorentragender Hydrant, von dessen Gonophorenträgern drei zu Tochterhydranten ausgewachsen sind. Die Tentakeln des Haupthydranten sind infolge Hungers vollständig reduziert, während die Tochterhydranten lange, feine Tentakelchen entwickelt haben.

Fig. 11. Clava squamata. Reduktionskörper, durch Nahrungsentziehung aus einem normalen, abgeschnittenen Hydranten gewonnen. p gallertiges Periderm.

Fig. 12. Clava squamata. Der aus einem Reduktionskörper erzüchtete neue Hydrant im Begriff, Gewebsteile von Mytilus zu fressen. p gallertiges Periderm.

Fig. 13—15. Syncoryne sarsii Lovén. Verhalten abgeschnittener Hydranten bei Nahrungsentziehung. Zerfall des Hydranten H. Konzentration aller nicht zerfallenen Zellen zum Coenosarkrohr c. Sofortiger Beginn lebhafter Regeneration an der Schnittfläche s. p das junge, auf der Oberfläche des Regenerats erzeugte Periderm. Weitgehende Coenosarkverlagerung in Fig. 15 u. 14.

Fig. 16. Eucopella campanularia Lendenf. Junges Knospungsstadium der Meduse. Die Eizellen ov (schwarz) sind soeben in die Knospe eingewandert. Schematisiert nach Lendenfeld.

Fig. 17. Eucopella campanularia Lendenf. Eben abgelöste Meduse ohne Magenrohr und Tentakeln mit den reifen Eiern (ov) beiderseits von den Radiärgefässen. Schematisiert nach Lendenfeld.

Fig. 18. Clavatella prolifera Hincks. Freie Meduse von Actinula ähnlichem Bau. ov Keimzellen. Nach Hincks.

Acaulis primarius Stimpson.

Ein neuer Ostseebewohner.

Von

Ludwig Will-Rostock.

Hierzu Tafel 24.

Vorgetragen in der Sitzung am 5. Juli 1913.

Wenn ich hier über einen für die Ostsee neuen Hydroidpolypen spreche, ohne ihn zunächst eingehender schildern zu können, als die Untersuchung der äusserlich sichtbaren Verhältnisse es erlaubt, so möge dieses Vorgehen durch den Wunsch gerechtfertigt sein, einen in jeder Beziehung eigenartigen Fund zunächst den Mitgliedern unserer Gesellschaft demonstriert zu haben, bevor ich genötigt bin, die Tiere zur weiteren Untersuchung in Schnittserien zu zerlegen. Ein Blick auf Tafel 24 genügt, um zu zeigen, dass unser Tier auch unter den Hydroiden eine so auffallende und seltene Erscheinung ist, dass man an einen Tiefseebewohner denken würde, wenn unsere westliche Ostsee überhaupt in Betracht kommende Tiefen aufzuweisen hätte. Jedenfalls sind neben der seltenen Erscheinung der solitären Lebensweise, der eigenartige Bau des Hydrokaulus, die Ausbildung eines Kranzes fleischiger, basaler Tentakeln sowie die unter den Hydroiden sonst nicht bekannte Fähigkeit, Wohnröhren aus Sand zu bilden Züge, welche unserer Form ein besonderes zoologisches Interesse sichern.

Ich fand unsern Polypen in 6 Exemplaren am 26. Mai d. J. in der Ostsee, östlich von Warnemünde in der Höhe von Wustrow in etwa 19—20 Meter Wassertiefe auf sandigem Grund Polysiphonien ansitzend. Der grösste abgebildete Polyp hatte eine Länge von ca. 7 mm im halbkontrahierten Zustand, so dass er jedenfalls der ansehnlichste unter den Ostseepolypen ist, nichts-

destoweniger aber wegen seines Einzelvorkommens leicht der Beobachtung entgehen würde, wenn nicht eine prächtige Orange- bis Zinnoberfarbe das Auge des Beobachters festhielte. Alle 6 Tiere waren verschieden gross und standen auf verschiedener Entwicklungsstufe. Bemerkenswert war nur, dass die Gonophorenbildung bereits anhebt, lange bevor der Polyp seine definitive Grösse erreicht hat.

Der Körper des Polypen zerfällt in zwei annähernd gleich lange Hälften, von denen die obere mit dem grösseren Querdurchmesser die Tentakeln trägt und deshalb als Hydrant dem unteren, pfriemenförmig zugespitzten Hydrokaulus gegenübergestellt werden mag. Es sind zwei verschiedene Formen von Tentakeln vorhanden, 1. kurze geknöpfte, welche in grosser Zahl über den ganzen Hydrantenkörper verstreut zu stehen scheinen, in Wirklichkeit aber eine deutlich spiralige Anordnung zeigen, die besonders bei kontrahierten Tentakeln und am vorderen Hydrantenkörper da gut hervortritt, wo der störende Einfluss der Gonophoren fehlt; 2. lange, äusserst dehnbare, zylindrische Tentakeln, welche unterhalb der Gonophoren bildenden Zone in einem Kranze von 7—8 Stück (die Zahl variierte bei den einzelnen Exemplaren) an der Uebergangsstelle des Hydranten zum Hydrokaulus ihren Platz haben.

Abweichend von allen bisher bekannten Hydroiden ist die Beschaffenheit des Hydrokaulus, der nach hinten pfriemenförmig zugespitzt endet und keinerlei Einrichtungen zur Festheftung, auch auf den ersten Blick nichts von der Peridermumhüllung anderer Hydroiden erkennen lässt. Nichtsdestoweniger ist eine solche in modifizierter Form doch vorhanden, wie wir gleich sehen werden.

Mit Ausnahme des kleinsten Individuums waren alle Tiere mit Gonophoren versehen, die in einer breiten, gürtelförmigen Zone unmittelbar über dem Kranz der zylindrischen und scheinbar zwischen den kurzen, geknöpften Tentakeln angeordnet sind — scheinbar sage ich, weil es mir gelegentlich so vorkam, als ob diese kurzen Tentakelchen im Bereich der Gonophoren von der Umbrella des Gonophors selbst entsprängen. Das tatsächliche Verhalten kann erst die Untersuchung an Schnitten ergeben. Die Gonophoren haben durchweg Kugelgestalt mit einer geringen Abflachung an der der Anheftung gegenüberliegenden Seite. Ihre Färbung ist die des übrigen Tieres. Dass es sich um Gonophoren und nicht um sich später lösende Medusenknospen handelt, schliesse

ich aus der durchaus massiven Beschaffenheit, die nur auf die Anwesenheit grosser, bei Medusenknospen nicht vorkommenden Eizellen zurückzuführen ist. Bei dem zur Abbildung gewählten Tier handelt es sich voraussichtlich um ein weibliches. Auf der im Bilde nicht sichtbaren Seite befindet sich nämlich ein Gonophor, welcher ausnahmsweise nicht kugelig, sondern in die Quere gedehnt ist und scheinbar aus zwei dicht aneinander gepressten Kugeln besteht. Ich kann diesen Zustand nur darauf beziehen, dass dieses Gonophor ausnahmsweise zwei Eier enthielt, während sonst ein Ei als Gonophoreninhalt die Regel bildet.

Beim Auffinden unserer Tiere glaubte ich in jedem einzelnen Falle das Tier frei im Seewasser flottierend vor mir zu haben. Versuchte ich aber, dasselbe in eine weite Pipette einzuziehen, so wurde der Versuch zunächst einige Male vereitelt, bis ich das Vorhandensein einer schleimig-gallertigen Substanz als die Ursache des passiven Widerstandes erkannte, die in Form einer im Wasser absolut durchsichtigen Röhre (Periderm) den Hydrokaulus nicht nur überzieht, sondern sich noch eine Strecke nach hinten über den Hydrokaulus hinaus fortsetzt und bei allen 6 Individuen mit einer Sandröhre in Verbindung stand, die der Oberfläche feinfädiger Algen (Polysiphonia) angeheftet war. In meiner ausführlichen Arbeit werde ich Photogramme beibringen, aus denen dieser gallertige Peridermüberzug sowie sein Zusammenhang mit der Sandröhre hervorgeht. Das zur Abbildung gewählte Tier wurde erst photographiert, nachdem die Verbindung mit der Sandröhre künstlich gelöst war.

Aus allem geht also hervor, dass unser Polyp als einziger Hydroid in einer von ihm fabrizierten Sandröhre lebt. Wenn er bei Untersuchung des Schleppnetz-Inhaltes, die erst am nächsten Morgen nach dem Fange im Laboratorium vorgenommen wurde, nicht mehr in seiner Röhre, sondern ausserhalb angetroffen wurde, so ist offenbar Sauerstoffmangel, wie im Falle mancher Röhrenwürmer, die Ursache zum Verlassen der Wohnröhe gewesen. Befreit man den Hydrokaulus künstlich von seinem schleimigen Peridermüberzug, so wird ein neuer in kürzester Frist abgeschieden, an dem alsbald alle Sandteilchen, mit denen er in Berührung kommt, kleben bleiben. Hieraus ist wohl ohne weiteres zu schliessen, dass der aktive Anteil, den das Tier an dem Bau seiner Röhre nimmt, sich auf die Erzeugung des schleimigen Periderms beschränkt, während die Inkrustierung seiner Oberfläche mit Sand-

körnchen rein passiv erfolgt. Da die Sandröhre sehr viel länger ist, als der Hydrokaulus bei grösster Ausdehnung Raum erfordert, so ist anzunehmen, dass der Polyp gelegentlich ältere Teile der Röhre aufgibt und ihr neue anfügt, so dass er also wie manche andere Röhren bewohnenden Tiere nur den distalen Teil der Röhre bewohnen würde.

Von grosser Wichtigkeit wäre wohl eine längere Beobachtung der lebenden Tiere gewesen — sie war jedoch nur in beschränktem Masse möglich, einmal, weil ich die Tiere unmittelbar vor einem mehrstündigen Kurse auffand und ich für die Lebendbeobachtung nur gelegentliche Arbeitspausen zur Verfügung hatte, ferner, weil die Tiere bei längerer Beobachtung und Beunruhigung, offenbar auch infolge der hohen Temperatur, Neigung zu längerer Kontraktion erkennen liessen und ich bestrebt sein musste, die wenigen Exemplare in möglichst gestrecktem Zustande für genauere Untersuchung auf Schnitten zu konservieren. Drittens nötigte die Neigung des Periderms, mit allem möglichen Detritus zu verkleben, ebenfalls zu baldiger Konservierung. Die einzigen Beobachtungen, die ich ausser denen über die Farbe und die Röhrenbildung noch am lebenden Tier machen konnte, betreffen die Kontraktionsfähigkeit. Bemerkt sei, dass das Photogramm nach der Konservierung des nicht betäubten Tieres hergestellt wurde und einen mittleren Kontraktionszustand repräsentiert, der ziemlich genau dem Verhalten unmittelbar vor Anwendung des Konservierungsmittels entspricht. Vorher aber konnte ich das Tier wiederholt in einem gedehnteren Zustand beobachten, in dem jede Körperhälfte etwa um die Hälfte länger, der Hydrokaulus hakenförmig gekrümmt und Gonophoren und kurze Tentakeln durch grössere Abstände voneinander getrennt waren. Ich habe darauf verzichtet, eine Abbildung des gestreckteren Zustandes zu geben, weil die momentane Anfertigung einer Skizze aus den angeführten Gründen unmöglich war, eine spätere Anfertigung der Zeichnung aus dem Gedächtnis mir aber bedenklich erschien.

Die Schilderung der verschiedenen Entwicklungsstufen der aufgefundenen Exemplare kann ich auf die spätere Ausführung dieser Mitteilung verschieben. Hier sei nur mit Rücksicht auf die Entdeckungsgeschichte unseres Polypen eines Exemplares gedacht, in dem der ganze Hydrokaulus zu einem kurzen, stumpfen Höcker von der Grösse eines einzelnen Gonophors verkürzt war. Ob diese Verkürzung durch eine starke Kontraktion, durch eine Einstülpung

oder durch Reduktion erfolgt ist, kann natürlich nur die Schnittuntersuchung lehren. Eine wenn auch nicht ganz so weitgehende Verkürzung zeigten übrigens auch die basalen Tentakeln dieses Exemplars, die wie kurze, zylindrische Stummel mit kugeliger Endfläche erschienen.

Sehr bemerkenswert ist das Vorkommen unseres Tieres. Wenn ich erwähne, dass ich nach 30 Jahren zoologischer Tätigkeit an der Ostsee den Polypen zum ersten Male auffand, so darf der Fund wohl sicher als ein seltenes Vorkommnis bezeichnet werden. Vor mir ist aber der Polyp an anderer Stelle nur zweimal beobachtet worden: Zum ersten Male im Jahre 1853 von W. Stimpson[1]) in der Bay of Fundy an der Ostküste von Kanada in einem einzigen Exemplar, das, wie das zuletzt von mir erwähnte, einen ganz kurzen stummelförmigen Hydrokaulus besass. Stimpson hat wegen dieser vermeintlichen Stiellosigkeit den Polypen Acaulis primarius getauft, einen Namen, den wir nach den Nomenklaturregeln beizubehalten gezwungen sind, so unzutreffend auch der Gattungsname ist. Uebrigens hat Stimpson die Ansicht, dass die Gonophoren als Medusen sich ablösen, eine Auffassung, die darauf beruht, dass er das aufgefundene Exemplar von Acaulis mit einer später aufgefundenen Syncorynide mit nur geknöpften Tentakeln und frei werdenden Medusen zusammenwirft und so die Meinung äussert, dass Acaulis nur eine Jugendform repräsentiert, später aber durch Verlust der zylindrischen Tentakeln in den Syncoryne-Zustand übergeht. Allman[2]) und G. O. Sars[3]) haben auf die Unrichtigkeit der Stimpsonschen Auffassung bereits hingewiesen, so dass ich mich ihnen nur anzuschliessen brauche.

Nur noch ein zweites Mal wurde Acaulis primarius im Jahre 1873 bei den Lofoten in 40—100 Faden Tiefe durch G. O. Sars[3]) beobachtet und soweit die äusseren Verhältnisse in Betracht kommen, richtig beschrieben und abgebildet. Vom Hydrokaulus hat auch Sars noch keine volle Vorstellung gewinnen können, da er an seinem grössten Exemplar nur ungefähr $^1/_3$ der

---

[1]) Stimpson, W., Marine Invertebrata of Grand Manan. Smithonian Contributions to Knowledge. Vol. VI. 1854.

[2]) Allman, G. T., A monograph of the gymnoblastic or Tubularian Hydroids. London 1871, p. 377.

[3]) Sars, G. O., Bidrag til Kundskaben om Norges Hydroides. Vidensk.-Selsk. Forhandlinger for 1873.

Gesamtlänge ausmacht, trotzdem das von ihm abgebildete Tier wesentlich mehr gestreckt war, wie das meinige. Die Röhren bewohnende Lebensweise hat Sars ebenfalls nicht erkannt, sondern nimmt an, dass das Tier sich mit Hülfe der vom Hydrokaulus abgeschiedenen „dünnen, hyalinen“ Hülle im Mudd befestigt.

Die drei räumlich weit auseinander liegenden Fundorte beweisen das Vorkommen von Acaulis im gesamten nördlichen Atlantischen Ozean einschliesslich seiner Buchten, zeigen aber zugleich, dass das Tier überall eine sehr seltene Erscheinung ist

Neuere Untersuchungen über das Chlorophyll.

Von

A. Michaelis-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 19. Juli 1913.

Der grüne Farbstoff der Pflanzen, dem im Jahre 1818 von Pelletier und Carventou der Name Chlorophyll gegeben wurde, ist einer der interessantesten Körper, da durch ihn die unermessliche Bildung der organischen Materie vermittelst der photochemischen Assimilation der Kohlensäure unter Abgabe des Sauerstoffs derselben erfolgt. Er ist daher auch seit etwa 100 Jahren von zahlreichen Chemikern und Botanikern aufs eifrigste untersucht.

Die Geschichte der Chemie lehrt uns, dass es auch hier Berzelius war, der grosse Chemiker, dessen Interesse sich auf alle Zweige der Chemie erstreckte, der diesen Farbstoff zuerst eingehend untersuchte. Er glaubte, dass er von Säure und Lauge nicht verändert werde und suchte ihn daher unter Anwendung dieser Körper zu isolieren. Nach ihm ist das Blattgrün weder ein Harz, noch ein Wachs oder Fett, sondern ein Farbstoff, vergleichbar in seiner Farbkraft mit dem Indigo. Fremy betrachtete das Chlorophyll als ein Gemisch eines gelben Körpers, des Phylloxanthins, und eines blauen Körpers, des Phyllocyanins, die er durch Einwirkung von starker Salzsäure und Aether auf dem Abdampfrückstand eines alkoholischen Blätterextraktes voneinander trennte, die Salzsäure färbte sich gelb, der Aether blau. Er nahm anfangs an, das Chlorophyll sei ein farbiges Fett, in dem das Phylloxanthin die Rolle des Glycerins, das Phyllocyanin die Rolle einer Fettsäure spiele, hielt es jedoch später für ein Gemisch von Phylloxanthin mit dem Kaliumsalz der Phyllocyaninsäure.

Weiter wurde das Chlorophyll von Hoppe-Seyler, Gautier, Tschirich, Tswett, von Schunck und March-

lewski sowie von Hartley untersucht. Man hatte nun erkannt, dass das Chlorophyll ein leicht veränderlicher Körper sei und wandte schonendere Methoden zur Isolierung desselben an. Als Derivate des Chlorophylls werden auch jetzt das Phylloxanthin und Phyllocyanin genannt, die nun aber ihre Bedeutung gewechselt haben und es kommt zu diesen das Chlorophyllan und Phyllotaonin hinzu. Die chemische Untersuchung tritt vielfach in Abhängigkeit von der Spektralanalyse, aber der Nutzen dieser Methode wird weit überschätzt. Wir wissen heute, dass manche bedeutende Veränderungen des Chlorophylls und seiner Derivate ohne Einwirkung auf das Absorptionsspektrum sind, dass anderseits manche konstitutionell geringfügige Aenderungen unverhältnismässige Aenderungen im Spektrum hervorrufen.

Eine wichtige Tatsache wurde aber durch das Spektrum von Stokes und Sorby festgestellt, dass nämlich der grüne Farbstoff der Pflanzen aus zwei Farbstoffen zusammengesetzt sei, von welchen der eine als Chlorophyll, der andere als Allochlorophyll bezeichnet wurde. Der reine Farbstoff bezw. ein Gemisch der beiden Farbstoffe frei von gelben Farbstoffen und von fremden Körpern, wie fette und wachsartige Substanzen, konnte aber nicht isoliert werden, so dass auch nicht einmal die qualitative Zusammensetzung dieses Farbstoffs bekannt war. Von vielen Forschern, wie Verdeil[1]), Salm Horstmar[2]), Pfaundler[3]) wird er als eisenhaltig, von anderen als phosphorhaltig bezeichnet. Stocklasa vergleicht ihn z. B. geradezu mit dem Lecithin. Von quantitativen Analysen, die Zutrauen verdienten, konnte also gar nicht die Rede sein.

Ich beabsichtige nicht heute abend auf diese ältere Literatur des Chlorophylls, die von Marchlewski im 6. Bd. von Roskoe-Schorlemmer-Brühls Lehrbuch der organischen Chemie, sowie neuerdings in einer besonderen Monographie zusammengestellt ist, näher einzugehen, sondern nur über die neuesten Untersuchungen des Chlorophylls von Richard Willstätter zu berichten, die dieser mit allen Hilfsmitteln der modernen Chemie im chemischen Universitätslaboratorium zu München begonnen, darauf im chemischen Institut des Polytechnikums zu Zürich fortgesetzt hat

---

[1]) Compt. rend. **33**, 683; **41**, 588; **47**, 442.
[2]) Pogg. Ann. **93**, 159; **94**, 466.
[3]) Ann. Chem. Pharm. **115**, 37.

und jetzt im Kaiser Wilhelm-Institut für Chemie in Berlin-Dahlem fortsetzt. Die Untersuchungen, welche in den Annalen der Chemie bis jetzt in 21 Abhandlungen veröffentlicht sind[1]), haben uns mehr Aufklärung über die Zusammensetzung des Chlorophylls gebracht, als alle vorhergehenden zusammengenommen.[2])

---

[1]) I. Willstätter und Mieg, Trennung und Bestimmung von Chlorophyllderivaten. Ann. Chem. **350**, 1.
II. Willstätter, Zur Kenntnis der Zusammensetzung des Chlorophylls. Ann. Chem. **350**, 48.
III. W. und Hocheder, Ueber die Einwirkung von Säuren und Alkalien auf Chlorophyll. Ann. Chem. **354**, 205.
IV. W. und Mieg, Ueber die gelben Bestandteile des Chlorophylls. Ann. Chem. **355**, 1.
V. W. und Pfannenstiel, Ueber Rhodophyllin. Ann. Chem. **358**, 205.
VI. W. und Benz, Ueber kristallisiertes Chlorophyll. Ann. Chem. **358**, 267.
VII. W. Hocheder und Hug, Vergleichende Untersuchung des Chlorophylls verschiedener Pflanzen. Ann. Chem. **371**, 1.
VIII. W. und Fritzsche Ueber den Abbau des Chlorophylls durch Alkalien. Ann. Chem. **371**, 33.
IX. W. und Asahina, Oxydation der Chlorophyllderivate. Ann. Chem. **373**, 227.
X. W. und Oppé, Vergleichende Untersuchung des Chlorophylls verschiedener Pflanzen. II. Ann. Chem. **378**, 1.
XI. W. und Stoll, Ueber Chlorophyllase. Ann. Chem. **378**, 18.
XII. W., Mayer und Hüni, Ueber Phytol. I. Ann. Chem. **378**, 73.
XIII. W. und Stoll, Spaltung und Bildung von Chlorophyll. Ann. Chem. **380**, 148.
XIV. W. und Isler, Vergleichende Untersuchung des Chlorophylls verschiedener Pflanzen. III. Ann. Chem. **380**, 154.
XV. W. und Hug, Isolierung des Chlorophylls. Ann. Chem. **380**, 177.
XVI. W. und Utzinger, Ueber die ersten Umwandlungsprodukte des Chlorophylls. Ann. Chem. **382**, 129.
XVII. W. Stoll und Utzinger, Absorptionsspektren der Komponenten und ersten Derivate des Chlorophylls. Ann. Chem. **385**, 156.
XVIII. W. und Asahina, Ueber die Reduktion des Chlorophylls. Ann. Chem. **385**, 188.
XIX. W. und Stoll, Ueber die Chlorophyllide. Ann. Chem. **387**, 317.
XX. W. und Isler, Ueber die zwei Komponenten des Chlorophylls. Ann. Chem. **390**, 269.
XXI. W. und Forsén, Einführung des Magnesiums in die Derivate des Chlorophylls. Ann. Chem. **393**, 180.

[2]) Vergl. auch Ueber Chlorophyll, Vortrag in der Naturforschenden Gesellschaft zu Zürich von R. Willstätter in der Vierteljahrsschrift der Gesellschaft. Jahrg. **57** (1912).

Nur einen wesentlichen Erfolg der früheren Untersuchungen muss ich noch hervorheben. Hoppe-Seyler[1]) hat mit einem Einwirkungsprodukt von Säuren auf Chlorophyll, dem oben genannten Chlorophyllan, einen wichtigen Versuch ausgeführt. Bei dem Erhitzen mit Alkalien auf hohe Temperatur beobachtete er seine Umwandlung in einen purpurroten Farbstoff, den er Dichromatinsäure nannte. Mit Salzsäure entstand daraus eine Verbindung, das Phyllophorphyrin, das in seinen optischen Merkmalen auffallend ähnlich dem Haematophorphyrin war, das aus Haemin bezw. Haematin, dem roten Blutfarbstoff, gebildet wird. Das Phyllophorphyrin und das Haematophorphyrin liessen sich weiter beide zu substituierten Pyrrolen abbauen. So erwiesen sich diese beiden wichtigen Körper, der grüne Farbstoff der Pflanzen und der rote Farbstoff des Blutes, als Abkömmlinge derselben Grundsubstanz.

Das Chlorophyll befindet sich in den grünen Pflanzen in den sogenannten Chlorophyllkörnern, plasmatischen Organen, die den Namen Chloroplasten erhalten haben und den farblosen Leukoplasten entsprechen, die unter Umständen bei Zutritt von Licht in Chloroplasten übergehen können. Das Chlorophyll ist nach Arnaud[2]) und nach Tswett[3]) mit einer gewissen Festigkeit durch molekulare Adsorptionskräfte, nach Willstätter[4]) vielleicht sogar chemisch in den Chloroplasten gebunden, da es z. B. durch Benzol, in dem sich Chlorophyll sonst leicht löst, nicht aufgenommen wird. Dagegen erhält man, vielleicht unter Mitwirkung eines Enzyms durch Ausziehen der grünen Blätter in frischem oder getrocknetem Zustand mit Alkohol leicht eine Lösung des Chlorophylls, die im durchfallenden Lichte tiefgrün, im reflektierten Lichte fast blutrot erscheint. Aber durch den Alkohol werden auch andere Stoffe wie Fette und andere, namentlich gelbe Farbstoffe aufgenommen, worauf schon Berzelius hingewiesen hatte. Kraus und Sorby bewiesen das Vorhandensein der gelben Farbstoffe durch den einfachen Versuch, dass sie den grünen alkoholischen Auszug mit Petrolaether (Kraus) oder mit Schwefelkohlenstoff (Sorby) schüttelten. Das Chlorophyll wird dann von dem Petrolaether oder Schwefelkohlenstoff, die sich grün färben, aufgenommen, während der Alkohol gelb gefärbt hinterbleibt.

---

[1]) Zeitschr. f. physiolog. Chem. **4**, 193 (1880); **5**, 75 (1881).
[2]) Compt. rend. **100**, 751 (1885).
[3]) Arb. der Naturf. Ges. zu Kasan **35**, 86 (1900).
[4]) Ann. Chem. **387**, 343.

Diese gelben Farbstoffe, die ebenfalls für die Funktion der grünen Blätter, Assimilation und Atmung von Wichtigkeit zu sein scheinen, sind auch von Willstätter[1]) untersucht. Da dieselben eine relativ einfache Zusammensetzung zeigen und leichter isoliert werden können, will ich sie hier vorweg betrachten.

A. Arnaud[2]) hat in den Jahren 1885—87 nachgewiesen, dass dem Chlorophyll ein gelber kristallisierter Farbstoff anhaftet, der auch in den Wurzeln der Möhre (Daukus carota) enthalten ist und durch den die rotgelbe Farbe derselben bedingt ist. Zeise stellte für diesen Farbstoff die Formel C_5H_8 auf, Husemann $C_{18}H_{24}$. Willstätter isolierte das Carotin durch Extrahieren von getrockneten Brennesseln mit Petrolaether, da es in Alkohol schwer löslich ist und zeigte, dass ihm als einfachste Formel C_5H_7 zukommt, die aber nach der Molikulargewichtsbestimmung mit 8 zu multiplizieren ist, zu $C_{40}H_{56}$. Das Carotin ist also ein Kohlenwasserstoff und polymer mit dem Cymol, der Muttersubstanz vieler Terpene. Es bildet kupferige Kristallblätter, schmilzt bei 168° und löst sich mit tiefroter Farbe in Schwefelkohlenstoff. Es verbindet sich leicht mit Jod zu dem Carotinjodid $C_{40}H_{56}J_2$ und ist namentlich dadurch ausgezeichnet, dass es an der Luft Sauerstoff aufnimmt, indem es dabei gänzlich gebleicht wird. Ein Molekül Carotin nimmt über 11 Atome Sauerstoff oder 34,3 % seines Gewichtes auf.

Ein zweiter gelber Farbstoff der Blätter ist das Xanthophyll, das von Willstätter zuerst isoliert wurde. Es ist in Alkohol relativ leicht löslich und bewirkt daher bei dem Krausschen Versuch hauptsächlich die Färbung des Alkohols.

Das Xanthophyll bildet in der Durchsicht gelbe bis orangengelbe, in der Aufsicht dunkelbraunrote Kristalle mit schön stahlblauem Reflex, schmilzt bei 172° und hat die Formel $C_{40}H_{56}O_2$. Es unterscheidet sich also vom Carotin durch einen Gehalt an 1 Molekül Sauerstoff. Mit Jod vereinigt es sich zu der Verbindung $C_{40}H_{56}O_2J_2$ und an der Luft nimmt es ebenso wie das Carotin unter vollständigem Verbleichen viel Sauerstoff auf und zwar 35,5 %.

Auf die physiologische Rolle dieser beiden gelben Chlorophyllbegleiter werde ich später zurückkommen.

---

[1]) Willstätter und Mieg, Ann. Chem. **355**, 1 u. ff.
[2]) Compt. rend. **100**, 751 (1885).

Von dem Chlorophyll hat Willstätter zuerst durch Einwirkung von Alkalien und Säuren auf den Abdampfrückstand des alkoholischen Auszuges von grünen Blättern zwei Reihen von Derivaten dargestellt, die sich später als sehr wichtig ergeben sollten und die er als Phytochlorine und Phytorhodine bezeichnet. Die Phytochlorine[1]) lösen sich in Aether mit gelbgrüner, die Phytorhodine mit roter Farbe und kristallisieren sämtlich gut. Sie haben mehr oder weniger basische Eigenschaften und werden daher den aetherischen Lösungen durch Säuren von bestimmter Konzentration, z. B. von 10, 3, 2, ½ %tiger Salzsäure entzogen. Willstätter bezeichnet sie mit lateinischen Buchstaben als Phytochlorine, Phytorhodine, a, b, c usw. Von diesen erwiesen sich besonders das Phytochlorin e und das Phytorhodin g von besonderer Wichtigkeit. Reines Chlorophyll ergab, wie sich später herausstellte, nur diese beiden Körper, war dasselbe aber verändert oder wie Willstätter es bezeichnet allomerisiert, so entstanden andere Phytochlorine und Phytorhodine. Zur genauen Untersuchung des Chlorophylls ging Willstätter von einem Rohchlorophyll[2]) aus, das durch Ausziehen von Blättermehl mit Methylalkohol erhalten und durch Schütteln dieser Lösung mit Gasolin und Wasser gereinigt war. Der gelbe Farbstoff bleibt dann wie schon angegeben, zum Teil in dem Alkohol, während das Chlorophyll in die Gasolinlösung übergeht. Diese Lösung wurde nun wiederholt mit wässerigem Methylalkohol und dann mit Wasser zur Entfernung des Alkohol geschüttelt, die Gasolinlösung mit Natriumsulfat getrocknet und das Gasolin dann abdestilliert.

Das so erhaltene Rohchlorophyll ist tiefgrün gefärbt und besitzt wachsartige Konsistenz. Es wurden durch Untersuchung desselben zwei sehr wichtige Resultate erhalten. Beim Verbrennen des Chlorophylls entstand immer eine Asche, die frei von Eisen und Phosphorsäure war und aus reiner Magnesia[3]) bestand. Diese Tatsache wurde bei den späteren Untersuchungen, auch bei Anwendung von reinem Chlorophyll, stets bestätigt. Das reine Chlorophyll hinterlässt beim Verbrennen als Asche konstant 5 % Magnesia, die frei von Eisen ist. Wenn es sich bestätigen sollte, dass die Pflanzen nur grüne Blätter erzeugen, wenn sie Eisen in der

[1]) Willstätter und Mieg, Ann. Chem. **350**, 1.
[2]) Ann. Chem. **350**, 65.
[3]) Ann. Chem. **350**, 57.

Nahrung bekommen, die sie durch die Wurzeln aufnehmen[1]) so ist dieses Eisen nur indirekt zur Erzeugung des Chlorophylls nötig, der Farbstoff selbst ist ganz frei davon. Dass aber auch die Zuführung von Magnesiumsalzen bei verschiedenen Kulturen sehr günstig auf Chlorophyll und Wachstum wirkt, ist ganz neuerdings von E. Mameli im botanischen Institut zu Pavia gezeigt worden. Das Magnesium ist in dem Chlorophyll nicht an Sauerstoff als Ion in Form eines Magnesiumsalzes enthalten, sondern komplex in dem organischen Rest und zwar wahrscheinlich an Stickstoff gebunden, ebenso wie das Eisen in dem Blutfarbstoff. Es wird bei Behandeln des Chlorophylls mit Säure leicht eliminiert, ist jedoch sehr beständig gegenüber Alkalien. Beim Erhitzen mit Alkali wird das Chlorophyll zwar verändert, aber das Magnesium nicht abgespalten. Das Chlorophyll wird auf diese Weise verseift unter Bildung einer magnesiumhaltigen Säure, deren Alkalisalze in Wasser mit intensiv chlorophyllgrüner Farbe, aber ohne die geringste Fluorescenz löslich sind. Aus dieser Lösung kann man durch vorsichtiges Ansäuren mit Phosphorsäure, oder besser saurem Natriumphosphat, den sauren Chlorophyllkörper abscheiden und durch Ausschütteln mit Aether isolieren. Willstätter nennt diesen Körper Chlorophyllin. Auch dieses hinterlässt beim Verbrennen eine weisse Asche von Magnesia, enthält also das Magnesium noch unverändert.

Das Einwirkungsprodukt von Säuren auf das Chlorophyll das, wie oben angegeben, magnesiumfrei ist, nennt Willstätter Phaeophytin.[2]) Bei vorsichtiger Behandlung mit der Säure werden noch keine reaktionsfähigen Gruppen des Chlorophylls verändert, so dass das Phaeophytin reine Chlorophyllsubstanz darstellt, der nur das Magnesium fehlt. Man erhält es am besten durch Zusatz der eben erforderlichen Menge kalter alkoholischer Oxalsäurelösung zu dem kalt gewonnenen alkoholischen Extrakten der Blätter, wobei es sich als in Alkohol schwer löslich zusammen mit dem Oxalat abscheidet und durch Lösen in Chloroform und Abscheidung mit Alkohol gereinigt wird. Das Phaeophytin lässt sich leicht rein erhalten und wurde von Willstätter zu seinen ausgedehnten Untersuchungen in grossen Mengen zumeist aus dem Mehl getrockneter Brennesseln dargestellt, das in Fässern zu 900—1000 fr.

---

[1]) Ad. Mayer, Agrikulturchemie I, 296 (1905). Diese Angabe ist nicht ohne Widerspruch geblieben.

[2]) Willstätter und Hocheder, Ann. Chem. **354**, 206 siehe daselbst auch die Nomenclatur S. 207.

die Tonne (1000 kg) von deutschen Drogenhandlungen bezogen wurde. Ausserdem wurde es zu analytischen Zwecken aus mehr als zweihundert Pflanzen bereitet, die aus den verschiedensten Klassen ausgewählt waren aus Meeralgen, Laubmoos, Farnkraut, Schachtelhalm, Coniferen aus verschiedenen Monocotyledonen und Dicotyledonen.

Phaeophytin ist ein Wachs von schwarzer Farbe und schwachem dunkelblauem Glanze, es verbrennt ohne eine Spur von Asche zu hinterlassen. Während es im Aussehen sehr wenig an Chlorophyll erinnert, wird es mit einem Schlage chlorophyllähnlich, durch die Bildung komplexer Metallverbindungen, z. B. mit Zink oder Kupfer. Diese komplexen Verbindungen sind intensiv grün bis blau gefärbt und manche von ihnen zeigen ausserordentliche Fluorescenz.

Das zweite wichtige Resultat war nun, dass sich dieses Phaeophytin leicht durch Alkali verseifen lässt, indem ein besonderer Alkohol entsteht, den Willstätter als Phytol[1]) bezeichnet und der etwa ein Drittel der Chlorophyllsubstanz ausmacht. Er hat die Zusammensetzung $C_{20}H_{40}O$ oder $C_{20}H_{39} \cdot OH$ und bildet ein farbloses Oel von schwachem eigentümlichen Geruch, der an getrocknete Kräuter erinnert. Er lässt sich nur im höchsten Vakuum unter einem Druck von 0,02—0,05 mm, wenn auch nicht ganz ohne Veränderung destillieren und siedet dann bei 145°. Phytol gehört zu den ungesättigten Alkoholen und ist also ein höheres Homologes des Allylalkohols $CH_2 = CH \cdot CH_2OH$. Durch die Einwirkung von Chromsäure wie von Ozon wird das rohe oder α Phytol abgebaut zu einem Keton $C_{15}H_{30}O$, das destillierte oder β Phytol zu einem Keton $C_{13}H_{26}O$. Es findet also bei der Destillation eine Verschiebung der Doppelbindung statt.

$$\alpha \text{ Phytol} = (C_{14}H_{30})C : C(C_3H_7) \cdot CH_2OH$$
$$\beta \text{ Phytol} = (C_{12}H_{26})C : C(C_5H_{11}) \cdot CH_2OH$$

Ich sehe hier davon ab, die vollständige Strukturformel des Phytols, die Willstätter aufgestellt hat, anzugeben, da sie auch nur hypothetisch ist. Sie bringt den Gedanken zur Anschauung, dass zwischen dem Phytol und dem Isopren, dem Baustein der Terpene und des Kautschuks, nahe Beziehungen bestehen. Auch das Carotin ist vielleicht ein Kondendationsprodukt des Isoprens.[2])

---

[1]) Willstätter und Hocheder, Ann. Chem. **354**, 247; Willstätter, Mayer und Hüni, Ann. Chem. **378**, 73.

[2]) Ann. Chem. **378**, 81.

Wurde das Phaeophytin mit Jodwasserstoffsäure nach Zeisel behandelt, so destillierte Jodmethyl über.[1]) Das Phaeophytin enthält also auch eine Methoxylgruppe. Danach sind also in dem Chlorophyll zwei Carboxyle enthalten, von denen das eine durch Methyl, das andere durch Phytol verestert ist. Die Untersuchung des Gemisches stickstoffhaltiger Verbindungen, die bei der Verseifung des Phaeophytins entstanden, lieferte Phytochlorin e und Phytorhodin g.[2])

Das oben angeführte Rohchlorophyll genügte zwar um Spaltungen des Chlorophylls auszuführen, aber zur Analyse desselben war es bei weitem nicht rein genug. Aussichtsreicher war es reines Chlorophyll auf Grund einer Beobachtung von J. Borodin[3]) zu erhalten, der 1881 in den Sitzungsberichten der botanischen Sektion der St. Petersburger Naturforscher-Gesellschaft angegeben hatte, das sich beim Betupfen mikroskopischer Schnitte grüner Blätter verschiedener Pflanzen mit Alkohol und langsamem Austrocknen der Präparate unter Deckgläsern grüngefärbte Kristalle bildeten, die er als kristallisiertes Chlorophyll ansprach. Dieselben Kristalle hatte der russische Botaniker N. A. Monteverde in etwas grösserem Masstabe dargestellt und das Absorptionsspektrum derselben untersucht. Willstätter[4]) gelang es nun, die Methode zur Dartellung des kristallisierten Chlorophylls durch Ueberführung desselben aus der alkoholischen Lösung in Aether und durch Entfernung von Beimischungen zu verbessern, so dass er diesen Körper in grösserer Menge zur Verfügung hatte. Er konnte z. B. aus den Blättern von Galeopsis tetrahit, Herakleum spondylium von Stachys silvatica und Lamium maculatum leicht gewonnen werden. Dieses kristallisierte Chlorophyll war von wunderbarer Schönheit; der Magnesiumgehalt, die Farbe der Lösung, das Spektrum zeigten zwar, dass in demselben unverändertes Chlorophyll vorlag, die nähere Untersuchung ergab jedoch, dass es von dem amorphen Chlorophyll der Blätter ganz verschieden war. Wurde es mit Säure gespalten, so ergab sich ein Phaeophytin, das bei der Verseifung keine Spur von Phytol gab, statt dessen war Aethyl in das Molekül eingetreten. Der kristallisierte Körper war also erst

---

[1]) Willstätter und Hocheder, Ann. Chem. **371**, 26.

[2]) Willstätter und Hocheder, Ann. Chem. **354**, 232; Ann. Chem. **371**, 27.

[3]) Botanische Ztg. **40**, 608 (1882).

[4]) Willstätter und Benz, Ann. Chem. **358**, 267.

unter Einwirkung des Alkohols und unter Austritt von Phytol gebildet. Willstätter fand, dass diese Umlagerung unter dem Einfluss eines Enzyms erfolgt,[1]) dass er als Chlorophyllase bezeichnet. Es ist von der allgemeinsten Verbreitung und in allen untersuchten Pflanzen aus den verschiedensten Klassen und verschiedensten Lebensbedingungen enthalten. Durch ein anderes Enzym wie durch die Lipase aus Ricinussamen oder die Pankreaslipase kann es nicht ersetzt werden. Wendet man zum Ausziehen des Chlorophylls statt Alkohol Methylalkohol an, so bildet sich ein kristallisiertes Chlorophyll, das statt des Aethyls Methyl enthält und wendet man Aether oder Aceton an, so wird eine kristallisierte Verbindung mit einer freien Carboxylgruppe erhalten, die Willstätter als Chlorophyllid bezeichnet. Die vorher angeführten kristallisierten Chlorophylle sind dann Aethyl- und Methylchlorophyllid und das in den Pflanzen vorkommende eigentliche Chlorophyll ist Phytylchlorophyllid. Der Abbau der kristallisierten Chlorophylle ergab wieder Phytochlorin e und Phytorhodin g.

Durch diese Resultate ergab sich, dass es zur Darstellung von kristallisiertem Chlorophyll am besten ist, die Extraktion der Blätter längere Zeit andauern zu lassen, damit die Chlorophyllase zur rechten Wirkung kömmt, dagegen bei Gewinnung unveränderten amorphen Chlorophylls nur kurze Zeit zu extrahieren, um möglichst die Abspaltung des Phytols zu vermeiden.

Ich habe nun schon zu Anfang dieses Vortrages darauf hingewiesen, dass schon Stokes und Sorby durch das Absorptionsspektrum des Chlorophylls zu der Ueberzeugung gelangt seien, dass es zwei grüne Farbstoffe gäbe, das Chlorophyll und das Allochlorophyll. Es war daher zu vermuten, dass sich auch das Aethyl- und Methylchlorophyllid in zwei Komponenten spalten liessen. Diese Vermutung hat sich in der Tat als richtig erwiesen. Die Isolierung[2]) der beiden Komponenten, die mit a und b bezeichnet werden sollen, geschah nach einem dem Krausschen ähnlichen Verteilungsverfahren, indem eine Lösung der Chlorophyllide in einer Aether-Petrolaethermischung, die mit etwas Holzgeist versetzt war, mit wasserhaltigem Holzgeist geschüttelt wurde. Die Chlorophyllide der b Reihe sind beträchtlich schwerer löslich in Aether als die der a Reihe, daher werden sie durch Extrahieren mit Holz-

[1]) Willstätter und Stoll, Ann. Chem. **378**, 18.
[2]) Willstätter und Stoll, Ann. Chem. **387**, 317.

geist der Aether-Petrolaetherlösung allmählich entzogen. Die Einzelheiten dieses Verfahrens kann ich hier natürlich nicht angeben.

Die Chlorophyllide der a Reihe erscheinen dunkelblau, die der b Reihe mehr dunkelgrün; sie kristallisieren beide in sechseckigen Täfelchen. Das Methylchlorophyllid a bildet prächtig blauglänzende Drusen rhombenförmiger Blättchen, das Methylchlorophyllid b eine schön grünschwarze Kristallisation von metallischem Glanz, die ebenfalls aus rhombenförmigen Blättchen besteht. In Lösung sind die Chlorophyllide und Methylchlorophyllide der a Reihe blaugrün mit roter Fluorescenz, die der b Reihe gelbgrün mit bräunlich roter Fluorescenz. Das Absorptionsspektrum[1]) der beiden Methylchlorophyllide ist dasselbe wie das der beiden Chlorophyllkomponenten a und b. Ob also Phytyl oder Methyl in dem Molekül enthalten ist, ist für das Absorptionsspektrum gleichgültig.

Die Analyse des Methylchlorophyllids und des Chlorophyllids der a Reihe führte bei wiederholter Analyse zu den Formeln

Methylchlorophyllid $C_{36}H_{36}O_5N_4Mg + \frac{1}{2}H_2O$
Chlorophyllid $C_{35}H_{34}O_5N_4Mg + \frac{1}{2}H_2O$

Nun war, wie ich schon angeführt, nachgewiesen, dass in dem Chlorophyll ein Phytolrest und ein Methyl an Sauerstoff gebunden enthalten ist, in dem Methylchlorophyllid, in dem der Phytolrest durch Methyl ersetzt ist, sind also zwei Methoxyle enthalten, die auch quantitativ nach Zeisel bestimmt wurden, in dem Chlorophyllid ein Methoxyl und eine freie Carboxylgruppe.

Die beiden Formeln[2]) lösen sich also auf in

Methylchlorophyllid a $(MgN_4C_{32}H_{30}O)\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH_3\end{matrix}$

Chlorophyllid a $(MgN_4C_{32}H_{30}O)\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix}$

Das Chlorophyll selbst oder das Phytylchlorophyllid hat also die Zusammensetzung

$$(MgN_4C_{32}H_{30}O)\begin{matrix}COOC_{20}H_{39}\\COOCH_3\end{matrix}$$

die auch durch die direkte Analyse des reinen Chlorophylls, das wir später noch betrachten werden, bestätigt wurde. Behandelt man die Chlorophyllide in alkoholischer Lösung mit Oxalsäure, so wird, wie schon gesagt, das Magnesium als Oxalat ausgefällt und

[1]) Willstätter, Stoll und Utzinger, Ann. Chem. **385**, 162.
[2]) Willstätter und Stoll, Ann. Chem. **387**, 331.

durch die äquivalente Menge von Wasserstoff, also durch H_2, ersetzt. Die so entstehenden Verbindungen nennt Willstätter Phaeophorbide von φορβή, die Pflanze

Phaeophorbid	$(N_4 C_{32} H_{32} O)$	$\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix}$
Methylphaeophorbid	$(N_4 C_{32} H_{32} O)$	$\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH_3\end{matrix}$
Phytylphaeophorbid oder Phaeophytin	$(N_4 C_{32} H_{32} O)$	$\begin{matrix}COOC_{20} H_{39}\\COOCH_3\end{matrix}$

Die Methylphaeophorbide a und b kristallisieren ganz gleichartig in spitzwinkligen Rhomben und lösen sich in Aether olivgrün, in Salzsäure blau. Die freien Phaeophorbide treten übereinstimmend in derben, abgestumpften, vierseitigen Täfelchen auf. Sie gehören zu den leichtest zugänglichen und schönsten Ausgangsmaterialien. Bei der Analyse geben sie scharf auf obige Formeln stimmende Zahlen und sind wasserfrei.

Einen etwas näheren Einblick in die Natur des Chlorophylls erhält man durch folgende Betrachtung:

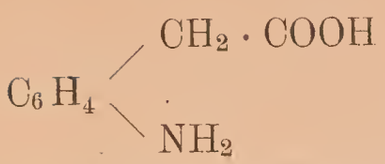
Das oben erwähnte Chlorophyllin, das durch Verseifung des Chlorophylls und der Chlorophyllide entsteht, enthält 3 Carboxylgruppen, da es ein Trikaliumsalz und einen Trimethylester bildet.[1]) Als dreibasische Säure würde es danach die Zusammensetzung haben:

$$(Mg\,N_4\,C_{31}\,H_{31})\begin{matrix}COOH\\COOH\\COOH\end{matrix}$$

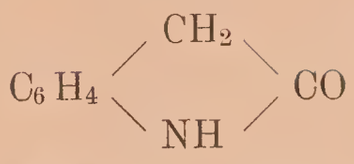
In dem Chlorophyll ist, wie wir gesehen haben, ein Carboxyl mit Phytol zu einer leicht verseifbaren Estergruppe verbunden, ein zweites Carboxyl mit Methylalkohol zu einer schwer verseifbaren Estergruppe, das dritte Carboxyl ist auch nicht als solches vorhanden, sondern in Lactambindung, da weder in dem Chlorophyll, noch in dem Methyl oder Aethylchlorophylliden eine saure Gruppe nachweisbar ist. Unter einem Lactam versteht man einen Ring, der durch Wechselwirkung einer Carboxylgruppe mit einem o-ständigen NH_2-Rest unter Austritt von Wasser geschlossen ist.

---

[1]) Willstätter und Fritzsche, Ann. Chem. **371**, 51 (1909); Willstätter und Utzinger, Ann. Chem. **382**, 134.

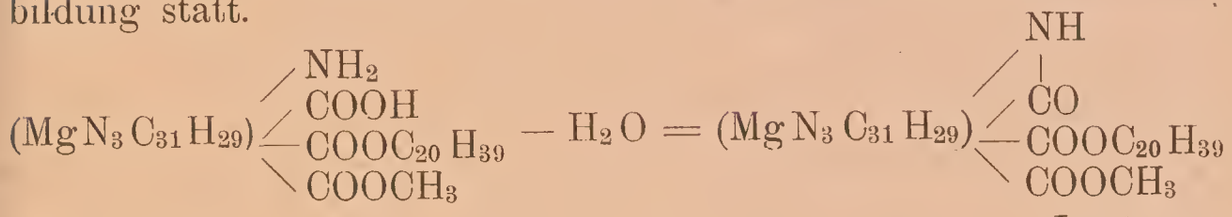


o. Amidophenylessigsäure

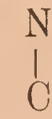


Lactam = Oxindol

In gleicher Weise findet also in dem Chlorophyll die Lactambildung statt.



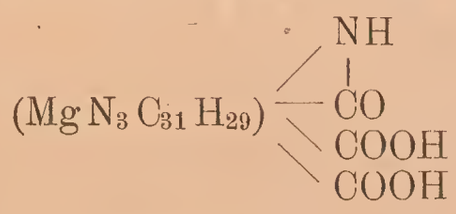
Säure — Lactam

Bei der Einwirkung von Alkalien auf Chlorophyll oder Chlorophyllide tritt nun eine eigentümliche Erscheinung ein. Die grüne Farbe schlägt zuerst in intensives Braun (gelbbraun bei Komponente a, rot bei b) um, dann tritt die ursprüngliche Chlorophyllfarbe wieder ein. Es ist also eine Veränderung in dem Aufbau des Chlorophylls eingetreten. Willstätter erklärt dies dadurch, dass der Lactamrest  sich öffnet und nun die entstandene Carboxylgruppe sich wieder mit einem anderen NH_2-Rest der Gruppe $N_4 Mg C_{31} H_{31}$ schliesst und bezeichnet den ganzen Vorgang als umlactamisieren.

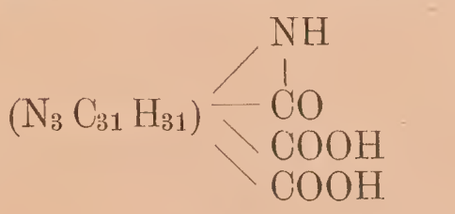
Mit einer analogen braunen Phase, wie sie das Chlorophyll zeigt, gehen aus dem Phaeophytin und den Phaeophorbiden Phytochlorin e und Phytorhodin g hervor und zwar gibt nun das Phaeophorbid der a Reihe nur das Phytochlorin e, das Phaeophorbid der b Reihe nur das Phytorhodin g. Die Analyse dieser Verbindungen führte zu den Formeln

Phytochlorin e $C_{34} H_{34} O_5 N_4$
Phytorhodin g $C_{34} H_{34} O_7 N_4$

Sie unterscheiden sich also wie Carotin und Xanthophyllin gerade um ein Molekül Sauerstoff und sind danach die umlactamisierten Phaeophorbine, d. h. die Mg-freien Chlorophyllline



Chlorophyllin in Lactamform



Phaeophorbin = Phytochlorin e

Die Analyse des Chlorophyllids und des Methylchlorophyllids der b Reihe führte zu den Formeln

$$\text{Methylchlorophyllid b} = C_{36}H_{34}O_6N_4Mg + \tfrac{1}{2}H_2O$$
$$\text{Chlorophyllid b} = C_{35}H_{32}O_6N_4Mg$$

Die beiden Komponenten a und b unterscheiden sich also auch um 1 Molekül O_2, indem:

$$C_{36}H_{36}O_5N_4Mg + O_2 = C_{36}H_{34}O_6N_4Mg + H_2O$$
Methylchlorophyllid a — Methylchlorophyllid b

Schreibt man die Seitenketten für sich, so hat man die Formeln

$$Mg(N_4C_{32}H_{28}O_2)\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix} \qquad (MgN_4C_{32}H_{28}O_2)\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH_3\end{matrix}$$
Chlorophyllid b — Methylchlorophyllid b

$$(MgN_4C_{32}H_{28}O_2)\begin{matrix}COOCH_3\\COOC_{20}H_{39}\end{matrix}$$
Phytylchlorophyllid b
oder Chlorophyll b

$$(N_4C_{32}H_{30}O_2)\begin{matrix}COOCH_3\\COOH\end{matrix} \qquad (N_4C_{32}H_{30}O_2)\begin{matrix}COOCH_3\\COOCH_3\end{matrix}$$
Phaeophorbid b — Methylphaeophorbid b

Durch Verseifung wird aus diesen Phaeophorbiden, wie gesagt, nur Phytorhodin g erhalten, das ein hydroxyliertes Lactam darstellt:

$$(N_3C_{31}H_{29}O)\begin{matrix}NH\\|\\C(OH)_2\\COOH\\COOH\end{matrix} = C_{34}H_{34}O_7N_4$$
Phytorhodin g

Das Sauerstoffatom im stickstoffhaltigen Rest ist vielleicht in einer zweiten Lactamgruppe vorhanden.[1])

$$(N_2C_{30}H_{28})\begin{matrix}NH\\|\\C(OH)_2\\COOH\\COOH\\CO\\|\\NH\end{matrix}$$

[1]) Ann. Chem. **382**, 137.

Es bleibt jetzt noch übrig, auch das amorphe Chlorophyll der Pflanze oder das Phytylchlorophyllid im reinen Zustande zu erhalten[1]) und in seine beiden Komponenten zu spalten, die auch wie die Methylchlorophyllide bei der Spaltung nur ein Phytochlorin bezw. Phytorhodin geben mussten. Die Isolierung wird ganz ähnlich ausgeführt wie die Trennung der Methylchlorophyllide, indem sich bei systematischer Fraktionierung des gemischten Chlorophylls zwischen wasserhaltigen Holzgeist und Petrolaether, die Komponente b im Methylalkohol, die Komponente a in der Benzinschicht anreichern und schliesslich rein erhalten werden. Die petrolaetherische Rohlösung des Chlorophylls wurde mit 90 % Holzgeist häufig, namlich 14 bis 16 oder sogar 20 mal gewaschen. Dann war der Petrolaether frei von der Komponente b. Das Chlorophyll a in dieser Lösung wurde nun durch wiederholtes Auswaschen derselben mit Wasser abgeschieden. Sobald nämlich der Methylalkohol durch das Auswaschen völlig entfernt ist, wird das reine Chlorophyll in dem Petrolaether unlöslich und scheidet sich als feiner Niederschlag aus. Von den methylalkoholischen Waschflüssigkeiten lohnt es sich die 6 ersten auf die Komponenten b zu verarbeiten, indem man die darin enthaltene Komponente a durch mindestens dreimaliges Waschen mit Petrolaether entfernt. Dann wird auch die Komponente b nach dem Verdünnen mit Wasser in holzgeisthaltigen Petrolaether übergeführt und wie oben angeführt, durch Waschen mit Wasser abgeschieden.

Das Chlorophyll a, dessen Analyse die oben angegebene Zusammensetzung bestätigte, ist mikrokristallinisch, aber es zeigt keine Kristallform. Es bildet ein blauschwarzes, leicht zerreibliches Pulver mit einem grünen Stich und nimmt auf glatter Fläche stahlblauen Glanz an. Beim Erhitzen fliesst es zwischen 117 und 121° zu einer zähen Masse zusammen. Es ist in Aether und absoluten Alkohol spielend leicht, in Methylalkohol mässig, im Petrolaether sehr schwer, auch in der Wärme, löslich. Die aethylalkoholische Lösung ist blaugrün, tiefrot fluorescierend, in dicker Schicht lässt sie rubinrotes Licht durch. Beinahe blau kann man die aetherische Lösung nennen, auffallend gelbstichich ist die Lösung in Schwefelkohlenstoff. In dem Absorptionsspektrum der Lösung sind 7 Bänder und eine Endabsorption enthalten.

---

[1]) Willstätter und Hug, Ann. Chem. **380**, 177; Willstätter und Isler, Ann. Chem. **390**, 269.

Das Chlorophyll b[1]) ist grün bezw. gelbstichich grün, und zeigt etwas geringere, aber doch sehr ähnliche Löslichkeitsverhältnisse wie das Chlorophyll a. Es ist in Petrolaether ganz unlöslich. Die aetherische Lösung ist leuchtend, die alkoholische etwas stumpfer grün. Die Fluorescenz ist braunstichich rot. Das Absorptionsspektrum, das von Willstätter bestimmt wurde, zeigt 9 Bänder und eine Endabsorption. Das Verhältnis, in dem die beiden Komponenten vorkommen, wird am besten durch Bestimmung des Verhältnisses von Phytochlorin e zu dem Phytorhodin g bestimmt und ist wie 1 zu 2,57, d. h., auf 72 % der Komponente a kommen 28 % der Komponente b.

Durch Säuren gehen die beiden Chlorophylle a und b in die entsprechenden Phaeophytine über. Das Phaeophytin a bildet blauschwarze, etwas wachsartige Klumpen, die sich schwer pulverisieren lassen. Das Phaeophytin b bildet eine grauschwarze Masse, die spröder als a ist und leichter zu einem grauschwarzen Pulver zerkleinert werden kann. In absolutem Alkohol sind beide schwer löslich. Durch siedende alkoholische Kalilösung werden die Phaeophytine leicht gespalten; Phaeophytin a gibt hierbei nur Phytochlorin e, Phaeophytin b nur Phytorhodin g, als umlaktamisierte Phaeophorbine.

Eine interessante Spaltung[2]) erleidet das Chlorophyll beim Erhitzen mit alkoholischem Kali. Wie wir gesehen haben, entsteht dabei zuerst das Chlorophyllin bezw. dessen Trikaliumsalz, das mit grüner Farbe ohne Fluorescenz löslich ist. Bei weiterem Erhitzen, auch auf dem Wasserbade, tritt aber eine Veränderung ein, indem die Lösung zu fluorescieren beginnt. Bei 140° verwandelt sich diese grüne Substanz in eine kristallisierbare, deren Lösungen prächtig blau gefärbt sind und sehr intensiv rot fluorescieren. Endlich bei 200° entsteht ein Umwandlungsprodukt von tiefroter Farbe. Alle diese Derivate sind Mg-Verbindungen, die einfach unter Abspaltung von Kohlensäure entstehen, so dass zuerst zweibasische, dann einbasische Säuren gebildet werden. Sie sind anolog dem Chlorophyllin als Rhodophyllin, Glaucophyllin, Pyrrophyllin und Phyllophyllin bezeichnet. Durch Säuren entsteht aus diesen Körpern eine zweite Reihe von Verbindungen, die Mg-frei sind

---

[1]) Willstätter und Jsler, Ann. Chem. **390**, 273.

[2]) Willstätter und Pfannenstiel, Ann. Chem. **358**, 205; Willstätter und Fritzsche, Ann. Chem. **371**, 33.

und, da sie Aehnlichkeit mit den eisenfreien Derivaten des Haemins haben, als Porphyrine bezeichnet worden sind.

Chlorophyllin $(Mg\,N_4\,C_{31}\,H_{31})$ COOH COOH COOH

Rhodophyllin / Glaucophyllin $(Mg\,N_4\,C_{31}\,H_{32})$ COOH COOH

Pyrrophyllin / Phyllophyllin $(Mg\,N_4\,C_{31}\,H_{33})$ COOH

Diesen entsprechen die magnesiumfreien Verbindungen

$(N_4\,C_{31}\,H_{33})$ COOH COOH COOH — Phaeophorbin

$(N_4\,C_{31}\,H_{34})$ COOH COOH — Rhodoporphyrin / Glaucoporphyrin

$(N_4\,C_{31}\,H_{35})$ COOH — Pyrroporphyrin / Phylloporphyrin

Diese Körper leiten sich also von dem Komplex $Mg\,N_4\,C_{31}\,H_{34}$ resp. $N_4\,C_{31}\,H_{36}$ ab, indem 3 Wasserstoffatome nach einander durch Carboxylgruppen ersetzt werden. Den Mg-freien Komplex, von dem sich das Phaeophorbin und die Porphyrine ableiten, bezeichnet Willstätter als Phytochromin.[1])

Das Glaucophyllin kristallisiert in grünen Prismen, deren Pulver blaugrün ist und die sich in Alkohol mit blauer Farbe und intensiv roter Fluorescenz lösen. Es ist in Wasser und in Aether unlöslich. Das isomere Rhodophyllin kristallisiert leicht in schön glänzenden Prismen mit tiefblauer Oberflächenfarbe. Es löst sich in Alkohol leicht, in Aether schwer mit prächtig blaustichich roter Farbe und blutroter Fluorescenz. Das Magnesium des Rhodophyllins lässt sich durch Erhitzen mit Aetzkali unter Zusatz von Zinkoxyd durch Zink ersetzen. Das so erhaltene Rhodophyllin ist gegen Säuren viel beständiger als die Magnesium-Verbindung. Aehnliche Verbindungen, die den Chlorophyllinen analog sind, liefern auch die Phytochlorine und Phytorhodine[2]), die ja die magnesiumfreien umlaktamisierten Derivate der Chlorophylline sind, wenn sie mit Zink oder Kupferacetat in essigsaure Lösung zusammengebracht werden. Diese Körper sind unverändert löslich in Natronlauge; die aetherische Lösung der Zinkverbindung fluoresciert stark, die der

[1]) Willstätter und Hocheder, Ann. Chem. **354**, 207.

[2]) Willstätter und Mieg, Ann. Chem. **350**, 45.

Kupferverbindung nicht. Auch minimale Mengen von Phytochlorin werden durch die Zink- oder Kupferverbindung sofort sichtbar, da die entstehenden Doppelverbindungen sehr viel stärker gefärbt sind. Sie enthalten das Zink oder Kupfer, wahrscheinlich ebenso wie das Magnesium komplex gebunden. Die Zinkverbindung wird durch Salzsäure zersetzt, indem die ursprüngliche Verbindung regeneriert wird, die Kupferverbindung dagegen ist so beständig, dass das Kupfer auch durch konzentrierte Salzsäure nicht abgespalten wird. Es erinnert dies an die von Schunk und Marchlewski sowie von Tschirch beschriebenen Verbindungen des Phyllocyanins mit Salzen von Schwermetallen, z. B. an das Phyllocyanin-Kupferacetat, dem die genannten Forscher die Formel $C_{68} H_{71} N_6 O_7 Cu_2$ geben.

Die Bildung solcher Kupferverbindungen der Chlorophyllkörper erklärt die Tatsache, dass kleine Mengen von Kupfer, die von grüngefärbten Pflanzenteilen, z. B. von grünen Bohnen aufgenommen werden, wenn man sie mit einer Kupfermünze kocht, um ihnen eine schön grüne Farbe zu erteilen, nicht schädlich wirken. Das Kupfer verdrängt das Magnesium des Chlorophylls und geht damit eine Verbindung ein, die im Körper nicht verändert wird, also ungiftig ist.

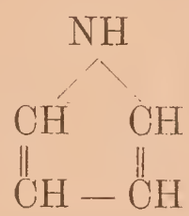
Das Pyrrophyllin kristallisiert aus der leuchtend roten aetherischen Lösung in Drusen von stahlblauglänzenden oder rötlich blauen, grossen, flächenreichen, spitzwinkeligen Tafeln. Das Phyllophyllin ist demselben in den physikalischen Eigenschaften und chemischen Verhalten sehr ähnlich, ist aber in seinem Sprektrum von demselben verschieden.

Auch die Porphyrine sind sehr gut kristallisierte Körper. Das Phylloporphyrin entsteht namentlich reichlich aus Phaeophytin oder besser aus Phytochlorin bei 6stündigem Erhitzen mit methylalkoholischem Kali auf 150°. Das Phyllo- und das isomere Pyrroporphyrin kristallisieren in dunkelroten Prismen mit violettem, metallischem Glanz. Die Kristalle der Phylloverbindung sind zugespitzt, die des Pyrroporphyrins gerade abgeschnitten. In Alkohol auf Aether lösen sich beide schwer mit karmoisinroter Farbe. Sie unterscheiden sich durch ihr Verhalten gegen Eisessig, in dem sich Phylloporphyrin leicht mit dunkelviolettroter Farbe und starkem violetten Tingieren, Pyrroporphyrin mit blaustichiger roter Farbe nur schwer löst.

Das Phylloporphyrin ist schon früher von Marchlewski und von Schunk und zwar aus Phyllotaonin, eines Einwirkungsproduktes von Säuren und dann von Alkali auf Chlorophyll, durch Erhitzen mit alkoholischem Kali auf 190° erhalten und hat nach deren Analyse ebenfalls die Formel $C_{16}H_{18}N_2O$ oder wie Willstätter annimmt $C_{32}H_{36}N_4O_2$. Das von Schunk und Marchlewski beschriebene Zinksalz enthält nach Willstätter das Zink nicht als Salz an Sauerstoff, sondern komplex an Stickstoff gebunden.

Meine Herren, werfen wir nur einen Blick nach rückwärts auf den zurückgelegten Weg, so ergibt sich, dass wir dem Problem der Feststellung der Konstitution des Chlorophylls schon erheblich näher gerückt sind. Wir haben gesehen, dass Chlorophyll ein Gemisch von 2 grünen Farbstoffen a und b darstellt, welche beide Magnesium komplex gebunden enthalten und Phytyl-Methyl-Ester des Lactams einer dreibasischen Säure darstellen. Ersetzen wir die 3 Carboxylgruppen dieser Säure durch Wasserstoff, so ergab sich als Muttersubstanz der Komplex $MgN_4C_{31}H_{34}$.

Können wir uns nun auch eine Vorstellung von der Konstitution dieses Komplexes machen? Wenn es auch nicht gelungen ist, denselben ganz aufzulösen, so ist es doch nach den vorliegenden Untersuchungen sicher, dass demselben ein 5gliedriger Ring, das Pyrrol,



zugrunde liegt, bei dem wahrscheinlich der Wasserstoff des NH-restes gegen das Mg ersetzt ist.

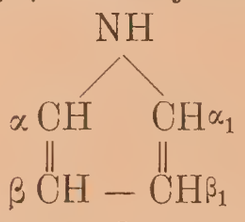
Nachdem im Jahre 1901 von M. Nencki und J. Zaleski[1]) nachgewiesen war, dass durch Reduktion von Haemin mit Jodwasserstoff und Phosphoniumjodid ein Pyrrolderivat von der Zusammensetzung $C_8H_{13}N$ entsteht, zeigten Nencki und Marchlewski[2]), dass bei der Reduktion eines Chlorophyllderivates, des Phyllocyaninkupferacetats, ebenfalls dieses Pyrrol, das als Haemopyrrol bezeichnet wurde, entsteht. Während Nencki diesen Körper als ein Butyl- oder Methylpropylpyrrol betrachtete,

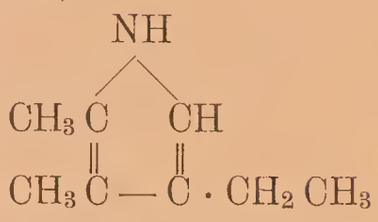
---

[1]) Ber. d. d. chem. Ges. **34**, 997 (1901).
[2]) Ber. d. d. chem. Ges. **34**, 1687 (1901).

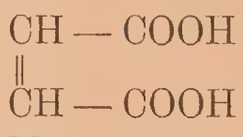
$$C_8H_{13}N = HNC_4H_2\begin{matrix}CH_3\\C_3H_7\end{matrix}$$

machte es Küster[1]) wahrscheinlich, dass das Haemopyrrol α Methyl-β-β_1 Methylaethylpyrrol sei,

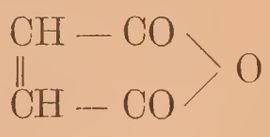




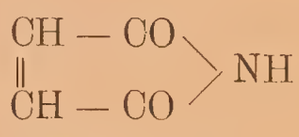
indem er durch Oxydation desselben das Methylaethylmaleïnimid erhielt



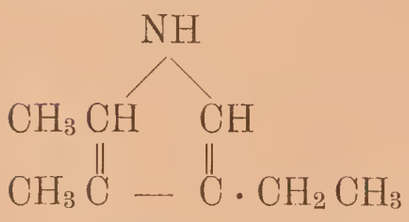
Maleïnsäure



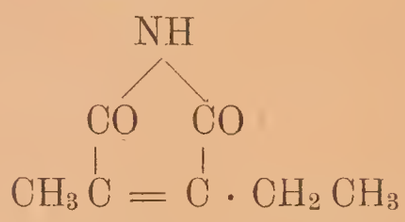
Anhydrid



Maleïnimid

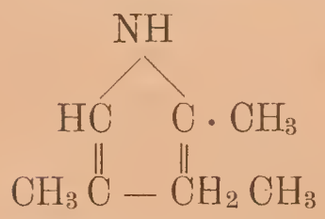


gibt oxydiert

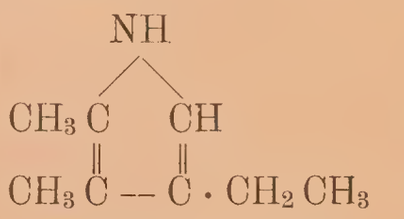


Schon Küster hatte jedoch darauf hingewiesen, dass das Haemopyrrol nicht einheitlich sei. Dies wurde dann durch weitere Untersuchungen von O. Piloty[2]) bestätigt, der die Reduktion des Haemins durch Zink- und Salzsäure bewirkte. Er erhielt aus dem Haemopyrrol Nenckis neben einem reichlichen harzigen Rückstand ein farbloses, innerhalb weniger Grade siedendes Oel. Dasselbe ergab sich als ein Gemisch des Haemopyrrols $C_{18}H_{13}N$ mit einer hydrierten Base, die zwei Atome Wasserstoff mehr enthielt, also ein Pyrrollin darstellte. Die Konstitution dieses Haemopyrrols ergab sich entsprechend den Angaben Nenckis.

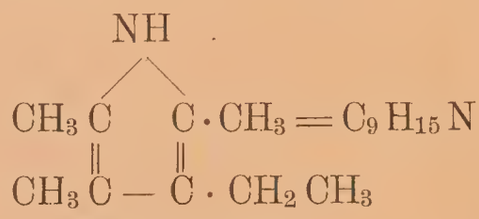
Nach den Untersuchungen Willstätters[3]) ist nun dieses Haemopyrrol, nach Entfernung des Pyrrollins durch Ausschütteln mit einer Lösung von Mononatriumphosphat, ein Gemisch von 3 substituierten Pyrrolen.



Haemopyrrol, flüssig
Oxim. Schmp. 201°
Pikrat. Schmp. 108—109°



Iso-Haemopyrrol, fest
Schmp. 16—17° Pikrat
Oxim. Schmp. 219°



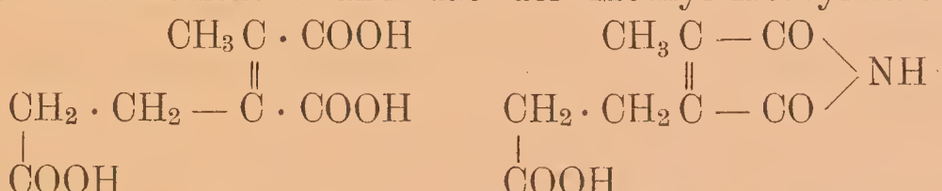
Phyllopyrrol, fest
Schmp. 66—67° Pikrat Schmp. 119°
95°

[1]) Ber. d. d. chem. Ges. **35**, 2953 (1902); Ann. Chem. **346**, 1.
[2]) Ann. Chem. **366**, 237 (1909); **377**, 314 (1910).
[3]) Willstätter und Asahina, Ann. Chem. **385**, 188.

Diese Pyrrole wurden nun auch von Willstätter durch Reduktion von Chlorophyllderivaten erhalten. Durch Reduktion eines ziemlich stark allomerisierten Phaeophytins in Eisessiglösung mit Zinn- und Salzsäure und Isolierung der gebildeten Pyrrole durch Wasserdampfdestillation wurde nur Iso-Haemopyrrol und ziemlich viel schön kristallisiertes Phyllopyrrol erhalten, dagegen war alles Haemopyrrol verloren gegangen. Durch Reduktion eines Gemisches von Phytochlorin und Phytorhodin, wie es bei vorsichtiger Hydrolyse von guten Phaeophytinpräparaten entsteht, in Eisessig-Salzsäurelösung durch Zinn, wurden alle drei der genannten Pyrrole erhalten, ebenso bei der Reduktion durch Jodwasserstoff und Jodphosphonium.

Die oben gegebene Konstitutionsformel für das Phyllopyrrol ist von H. Fischer und Bartholomäus[1]) durch Synthese experimentell bestätigt. Das Haemopyrrol Willstätters ist dagegen nach einer Untersuchung von Piloty und Stock[2]) noch ein Gemisch zweier Komponenten. Ich gehe aber hierauf nicht näher ein, da die weiteren Untersuchungen sich nur auf den Blutfarbstoff beziehen und es mich heute zu weit führen würde, auch auf die neueren Untersuchungen, die über diesen vorliegen, näher einzugehen.

Auch bei der Oxydation des Phylloporphyrins erhielt Willstätter Produkte, die denen des Haematins entsprechen, das Imid der Haematinsäure und das der Methyl-Aethylmaleïnsäure:



Haematinsäure — Imid der Haematinsäure

Methylaethylmaleïnsäure — Imid

Wir haben also gesehen, dass sowohl das Chlorophyll wie der Blutfarbstoff Pyrrolderivate liefern, und dass also auch dem Komplex $MgN_4C_{31}H_{34}$ diese Verbindung zugrunde liegt. Wie aber dieser Komplex konstituiert ist, wissen wir nicht. Alle Spekulationen darüber scheinen mir noch verfrüht zu sein.

[1]) Ber. d. d. chem. Ges. **45**, 466 (1912).

[2]) Ann. Chem. **392**, 215; vgl. auch Marchlewski, Zeitschr. f. physiol. Chem. **82**, 413.

Zum Schluss möchte ich noch die Frage berühren, ob nun der Prozess der Assimilation durch die genauere Kenntnis des Chlorophylls einer Aufklärung näher gerückt ist.

Von den verschiedenen Hypothesen zur Erklärung der Assimilation hat am meisten Anklang der Gedanke von A. von Baeyer gefunden, dass zuerst Formaldehyd entstehe und dieser durch Polymerisation in Glukose übergehe. In der Tat haben sich beide Reaktionen künstlich ausführen lassen. Man kann, freilich durch komplizierte Reaktionen, die Kohlensäure zu Formaldehyd reduzieren und diesen durch Erwärmen mit Kalkwasser in eine zuckerähnliche syrupöse Substanz überführen, aus der Emil Fischer eine kleine Menge von α Acrose oder i Fructose abzuscheiden lehrte, die sich in Traubenzucker überführen liess. Diese Synthese ist neuerdings verbessert durch die Beobachtung von H. I. H. Fenton[1]), dass sich Kohlensäure in wässeriger Lösung schon bei gewöhnlicher Temperatur durch Magnesium, besonders leicht bei Gegenwart einer Base, in Formaldehyd überführen lässt, so dass man jetzt imstande ist, den Zucker synthetisch bei derselben Temperatur wie die lebende Pflanze darzustellen. Auch die Beobachtung, dass die Pflanzen bei Zufuhr von Formaldehyd anstelle von Kohlensäure Stärke bilden können, ist eine weitere Stütze der Baeyerschen Hypothese. Es fehlte nur noch der Nachweis, dass in den Pflanzen Formaldehyd wirklich enthalten sei. Dieser ist nach der Kritik der vorliegenden Beobachtungen von Bokorny[2]) sowie von Curtius und Franzen[3]) bis jetzt nicht erbracht, doch wollen die letzgenannten Chemiker Formaldehyd in Pflanzen sicher nachgewiesen haben. Sie destillierten je 15 kg fein gemahlener Hainbuchenblätter mit Wasserdampf und versetzten das Destillat mit Silberoxyd um den übergegangenen Aldehyd zu oxydieren und mit Barytwasser um die Säure zu binden. Durch Eindampfen der Lösung wurden so aus 1500 kg Hainbuchenblätter 227 gr Baryumsalze erhalten, die wie einwandsfrei nachgewiesen wurde, eine kleine Menge von ameisensaurem Salz enthielten. Für jedes kg Blätter wurden so 0,008613 gr Formaldehyd berechnet. Doch beweisen auch diese Untersuchungen nicht sicher die Gegenwart des Formaldehyds in den Blättern, denn die Ameisensäure konnte auch vielleicht aus anderen Substanzen wie Formaldehyd

[1]) Chem Centr. **1907**, 42.
[2]) Chem. Ztg. **33**, 1191, 1150.
[3]) Ber. d. d. Chem. Ges. **45**, 1715.

entstanden sein. Nach einer eben erschienenen Arbeit von Herrn Dr. Finke[1]), einem früheren Schüler unseres chemischen Instistuts, würde es sogar unmöglich sein, Formaldehyd in Blättern nachzuweisen, da kleine eben noch nachweisbare Mengen dieses Aldehyds in wässeriger Lösung durch Zusatz von Blätterbrei zerstört würden, indem sie im Filtrat oder Destillat nicht mehr nachweisbar seien.

Wenn man nun die Richtigkeit der Baeyerschen Hypothese als nachgewiesen betrachtet, wie würde sich die Reduktion der Kohlensäure in der Pflanze vollziehen? Emil Fischer[2]) nimmt an, dass die Kohlensäure zunächst von den Proteinkörpern des Chlorophyllkornes festgehalten werde, da schon die einfachen Aminosäuren nach der Beobachtung von Siegfried zur Bindung von Kohlensäure befähigt seien. „Ich denke mir weiter," sagt E. Fischer bei Besprechung des asymetrischen Verlaufes der Synthese in der Faradayvorlesung „Organische Synthese und Biologie"[3]), „dass die Kohlensäureverbindung in Sauerstoff und ein Reduktionsprodukt, wahrscheinlich ein Formaldehydderivat, zerlegt wird. In diesem asymetrischen Komplex oder einem anderen, der sekundär durch vorhergehende Abspaltung und neue Bindung des Formaldehydes entsteht, kann dann die asymetrische Polymerisation zum Zucker entweder direkt oder auch mit Zwischenprodukten wie Glykolaldehyd oder Glycerose vor sich gehen."

Es liegt nun der Gedanke nahe, dass die Kohlensäure nicht von dem Protoplasma, sondern von dem Chlorophyllfarbstoff festgehalten werde. Hierbei kann das komplexgebundene Magnesium von Wichtigkeit sein. Ich muss hierbei zuvor bemerken, dass in neuerer Zeit das Magnesium bei einer sehr fruchtbaren Reaktion der französischen Chemiker Barbier und Grignard Anwendung findet — gewöhnlich die Grignardsche Reaktion genannt — indem Jodalkyle sich mit Magnesium, das mit trockenem Aether übergossen ist, unter lebhafter Wärmeentwicklung vereinigen.

$$C_2H_5J + Mg = Mg\begin{matrix}C_2H_5\\J\end{matrix}$$

Leitet man in eine solche Lösung CO_2, so wird sie festgehalten unter Bildung einer Fettsäure, der Propionsäure.

$$C_2H_5MgJ + CO_2 = C_2H_5CO \cdot OMgJ$$

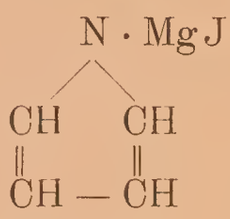
$$C_2H_5COOMgJ + H_2O = C_2H_5CO \cdot OH + Mg\begin{matrix}J\\OH\end{matrix}$$

[1]) Biochem. Zeitschr. **52**, 214.

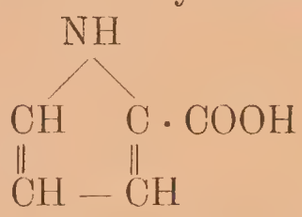
[2]) E. Fischer, Org. Synthese und Biologie S. 8.

[3]) E. Fischer, Org. Synthese und Biologie S. 8.

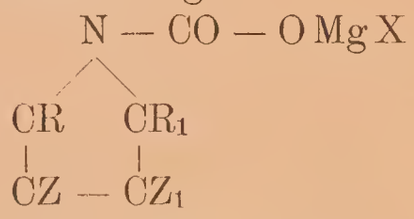
Der italienische Chemiker B. Oddo[1]) hat nun gezeigt, dass durch Einwirkung von Methylmagnesiumjodid auf Pyrrol zuerst ein Magnesiumderivat entsteht, bei dem das Magnesium am Stickstoff gebunden ist,



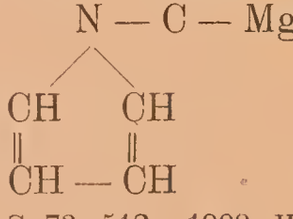
das dann aber bei Einwirkung von CO_2 in die α Stellung am Kohlenstoff rückt, indem eine α Pyrrolcarbonsäure



entsteht. Bei den Pyrrolen des Chlorophylls würde nun eine solche Verschiebung nicht möglich sein, da die $\alpha\alpha'$ Stellungen besetzt sind. Die Kohlensäure würde hier also am Magnesium festgehalten werden, wie folgende Formel zeigt.



wobei X einen grösseren kohlenstoffhaltigen Komplex bezeichnet. Aus diesem würde nun der Sauerstoff fortgenommen, vielleicht unter Mitwirkung der gelben Farbstoffe, die, wie wir sahen, so begierig Sauerstoff absorbieren oder auch, indem das Chlorophyll a in das Chlorophyll b übergeht, Verbindungen, die sich, wie wir gesehen haben, gerade um 1 Molekül Sauerstoff unterscheiden. Der aufgenommene Sauerstoff muss dann durch uns noch nicht bekannte Reaktionen wieder abgegeben werden. Es würde dann der ganze Assimilationsprozess auf einer fortwährenden Bildung von Chlorophyll b durch Sauerstoffaufnahme aus Chlorophyll a und einer Rückbildung des Chlorophylls a in b unter Abgabe von freiem Sauerstoff beruhen. Der gebildete Körper



[1]) Chem. Centr. 1907, II. S. 73, 512; 1909, II. 1. S. 914. Ber. d. d. chem. Ges. **1910**, 1012.

kann nun unter Aufnahme von 1 Molekül H_2O, das ja gerade bei der Bildung des Chlorophylls b entsteht, Formaldehyd abspalten und dieser sich zum Zucker kondensieren.

Sie sehen, dass hier wenigstens eine entfernte Aussicht besteht, das Dunkel, dass noch auf dem Prozess der Assimilation lastet, einmal völlig aufzuklären.

Ich komme zuletzt auf die oben angeführte Untersuchung von Curtius und Franzen[1]) zurück, die ein für die Kenntnis der grünen Blätter sehr interessantes Resultat ergab.

Im Jahre 1881 zeigten I. Reinke[2]) und I. Reinke und L. Kretschmar[3]), dass in dem Destillat grüner Blätter, eine mit Wasserdämpfen flüchtige Substanz vorkommt, welche die Eigenschaft von Aldehyden besitzt und welche sie zuerst für Formaldehyd hielten. Die Blätter von über 50 untersuchten Pflanzen Deutschlands gaben Destillate, welche alkalische Silberlösung und Fehlingslösung reduzierten. Die Destillate etiolierter Keimlinge zeigten kein Reduktionsvermögen, während die von am Licht gezogenen Keimlingen Silberlösung kräftig reduzierten. Es erschien hiernach einigermassen sicher gestellt, dass diese Substanz ein Erzeugnis der Chlorophyllapparatur unter Mitwirkung des Lichtes sei. Im Jahre 1897 wurden die Arbeiten über die Natur dieses Blätteraldehydes von Curtius und Reinke wieder aufgenommen und im Jahre 1912 von Curtius und Franzen vorläufig beendet. Th. Curtius gelang es in dem m. Nitrobenzhydrazid $NO_2C_6H_4CONHNH_2$ einen Körper aufzufinden, mit dessen Hülfe man aus dem Blätterdestillat den Aldehyd als schwerlösliches Kondendationsprodukt ausfällen kann. Dass durch Umkristallisieren aus heissem Benzol gereinigte Kondendationsprodukt zeigte den Schmelzpunkt 167—168° und die Zusammensetzung $C_{13}H_{15}O_3N_3$. 600 kg Hainbuchenblätter lieferten 209,4 gr desselben. Durch Destillation mit verdünnter Schwefelsäure liess sich aus dem Kondendationsprodukt der freie Aldehyd abscheiden, der sich als eine Hexylenverbindung erwies und die Zusammensetzung

$$C_5H_9 - CHO$$

ergab. Die Oxydation des Aldehydes mit Silberoxyd gab eine feste Säure vom Schmelzpunkt 32—33°, die in allen Eigenschaften

---

[1]) Ann. Chem. **390**, 89.

[2]) Ber. d. d. chem. Ges. **14**, 2145 (1881).

[3]) Unters. aus d. botan. Laborat. der Univers. Göttingen IV, 61 (1883).

mit der von Fittig und Baker[1]) aus der Hydrosorbinsäure dargestellten Hexylensäure

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH = CH \cdot COOH$$

übereinstimmte. Der Aldehyd war also der entsprechende Hexylenaldehyd

$$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH = CH \cdot CHO$$

ein höheres Homologes des Acroleins und des Crotonaldehydes. Er bildet ein farbloses Oel von eigentümlichem, charakteristischem Geruch und siedet unter 17 mm Druck bei 47—48°. Der Aldehyd besitzt 6 Atome Kohlenstoff wie die Hexosen und steht mit diesen in einfachem Zusammenhang, wie folgende Gegenüberstellung zeigt

$$\begin{array}{l} CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CH = CH \cdot COH \\ CH_2 \cdot CH \cdot CH \cdot CH \cdot CH - COH \\ \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \\ \quad OH \quad OH \quad OH \quad OH \quad OH \end{array}$$

1 kg Hainbuchenblätter lieferte durchschnittlich 0,3706 gr Kondendationsprodukt. Auch in den Blättern vieler anderer Pflanzen findet sich der Aldehyd in mehr oder weniger grosser Menge wie folgende Zusammenstellung zeigt.

Wein (Vitis viniera) 1 kg	0,3500	gr	K.	Pr.
Edelkastanien (Castanea vesca) 1 kg	0,2933	„	„	„
Wintereiche (Quercus sessiliflora) . .	0,1100	„	„	„
Adlerfarn (Pteris aquilina)	0,1923	„	„	„
Traubenflieder (Sambucus racemosa) .	0,0600	„	„	„
Lupine (Lupinus polyphyllus) . . .	0,0270	„	„	„
Schwarzerle (Alnus glutinosa) . . .	0,0732	„	„	„
Haselnuss (Corylus avellana) . . .	0,0667	„	„	„
Birke (Betula alba)	0,1444	„	„	„
Walnus (Junglans regia)	0,0800	„	„	„

Aehnlich, wie wir bei der Entdeckung des Argons sahen, dass in der atmosphärischen Luft, die seit langer Zeit von vielen Chemikern untersucht und scheinbar ihrer Zusammensetzung nach völlig aufgeklärt war, doch noch ein vorher unbekannter Stoff enthalten ist, von dem wir täglich viele Liter ein- und ausatmen, so sehen wir hier, dass sich in den ebenfalls viel durchforschten grünen Blättern eine flüchtige Substanz befindet, deren Vorkommen in denselben früher niemand geahnt hätte.

[1]) Ann. Chem. **283**, 118 (1899).

Ueber zwei bisher unbekannte Bestandteile der Zuckerrübe und einiger verwandten Chenopodiaceen.

Von

R. Kobert-Rostock.

Vorgetragen in der Sitzung am 13. Dezember 1913.

Zu den verbreitesten Stoffen im Pflanzenreiche gehören die Saponine. Etwa sechzig Familien enthalten Saponinpflanzen. Für eine recht wichtige Nahrungs- und Futterstoffe liefernde Familie, nämlich für die der Chenopodiaceen, war die Zugehörigkeit zur Gruppe der Saponinpflanzen bisher höchst zweifelhaft, da nur eine einzige aus dem Jahre 1886 stammende Notiz einen Schaumstoff und zwar für Chenopodium mexicanum anführt. Der so wichtige Versuch mit Blut, d. h. der biologische Nachweis dieses Saponins, steht bis heute aus. Ich habe nun für vier beliebig herausgegriffene Chenopodiaceen einen Gehalt an Saponinen sicher erwiesen.

Aus der grossen Verbreitung der Saponine muss man natürlich auf eine für den Pflanzenorganismus wichtige Funktion derselben schliessen. Da die Saponine chemisch wahrscheinlich Parlinge von Zuckern (meist Pentosen und Hexosen) mit Phytosterinderivaten sind, liegt es nahe, sie als Reservestoffe im Sinne der Kohlehydrat- und der Phytosterinspeicherung aufzufassen, wobei diese Reservestoffe noch gleichzeitig als Schutzstoffe gegen gewisse tierische Schädlinge ausgenutzt werden können. Unter diesem Gesichtswinkel betrachtet dürften sie, wie die Stärke in den Blättern aus Hexose gebildet wird, so aus Hexosen und Pentosen gebildet werden. Nun lagen früher gerade für Blätter nicht viele Saponinuntersuchungen vor. Ich selbst habe daher durch W. Frieboes schon vor 10 Jahren in den Blättern von Guajacum officinale mehrere Saponine

nachweisen lassen. Auch für die Araliaceen liegen solche Untersuchungen vor. Auch die Digitalisblätter sind als saponinhaltig bekannt. Noch unveröffentlichte Untersuchungen meines Institutes haben in den Blättern einer ganzen Reihe von Silenaceen Saponine ergeben; auch die Blätter der Herniaria sind saponinhaltig. Unter solchen Umständen war zu vermuten, dass auch bei den Chenopodiaceen aus den Blättern sich Saponin würde darstellen lassen. In der Tat fand ich in Blättern der Zuckerrübe, die im November eingefahren wurden, nicht nur ein Saponin, sondern deren zwei. Dies alles spricht also für meine Auffassung, dass die Saponine wie die Stärke in den Blättern gebildet und dann von hier aus in die Speicherorgane transportiert werden. Wie Stärke und Inulin müssen dazu die in Wasser unlöslichen Saponine, d. h. die meisten sauren, vorher in eine lösliche Substanz umgewandelt werden. Für die Speicherung eignen sie sich ihrer Unfähigkeit zu dialysieren wegen besonders gut; die sauren Saponine sind ferner zum grossen Teil in Wasser ganz unlöslich und speichern sich deshalb sehr gut. Da endlich sehr viele Saponine einer gemeinsamen, von mir vor vielen Jahren aufgestellten allgemeinen Formel ($C_n H_{2n-8} O_{10}$) entsprechen, kann der Organismus Methyl für Methyl teils anlagern, teils wegnehmen, ohne den Charakter der Verbindung zu ändern, was bei der Stärke doch nicht der Fall ist. Von Speicherorganen kommen Samen, bzw. Früchte, Wurzeln und bei grösseren Pflanzen die Rinde in Betracht. Was die Wurzel anlangt, so vermochte ich in der Knolle der Zuckerrübe und der Futterrübe je zwei Saponine nachzuweisen. Ebenso fand ich zwei damit nahe verwandte, aber wohl nicht identische Saponine in den sogenannten Rübensamen, d. h. in den Früchten beider Rübenarten. Das Vorkommen von Saponinen in der Futterrübenknolle war nach dem oben Gesagten zu erwarten. Dass aber die mit Rohrzucker doch geradezu überladene Zuckerrübenknolle nebenbei auch noch Platz hat, nicht weniger Saponine als die Futterrübe zu speichern, ist in der Tat erstaunlich. Noch auffallender ist, dass bei der tausendfältigen Untersuchung, der die Zuckerrübe unterzogen worden ist, noch kein Chemiker die Saponine gefunden hat, obwohl doch das Schäumen der Zuckerrübensäfte darauf geradezu hinwies.

Die Darstellung der Saponine aus Blättern, Knollen und Samen beider Rübenarten kann nach folgendem allgemeinen

Schema vorgenommen werden. Man macht erst ein rein wässeriges, dann ein mit Natriumkarbonat versetztes Dekokt. Das letztere gibt beim Ansäuern mit verdünnter Salzsäure einen Niederschlag von saurem Saponin (erste Portion). Das erstere enthält ein Gemisch von saurem und neutralem Saponin. Bleiacetatzusatz reisst beide nieder. Der gewaschene Bleiacetatniederschlag wird mit wässeriger Lösung von Natriumkarbonat in gerade hinreichenden Mengen zersetzt, um alles Blei in Karbonat überzuführen. Dieses bleibt auf dem Filter, während das Gemisch der Saponine in Lösung geht. Salzsäure, bis zur Neutralisation der zunächst alkalischen Lösung zugesetzt, macht die zweite Portion des sauren Saponins ausfallen, während das neutrale Saponin abfiltriert und aus dem Filtrate (neben etwas Kochsalz) durch Eindunsten gewonnen werden kann.

Das polizeiliche — in verschiedenen Gegenden aber ganz verschieden gehandhabte — Verbot des Zusatzes von Saponinen zu Nahrungs- und Genussmitteln geht in letzter Instanz auf meine und meiner Schüler Publikationen über die Quillajasäure, das Quillajasapotoxin, das Senegin, das Cyclamin etc. zurück. Ich musste damals energisch gegen die in Frankreich herrschende Ansicht, Quillajatinktur sei ein harmloses Emulgens und Schaummittel, ankämpfen, denn bei unseren Versuchen erwiesen alle damals bekannten Saponine sich bei jeder Art der Applikation als Gifte. Mittlerweile haben sich aber auch Glieder der Saponingruppe auffinden lassen, die bei innerlicher Darreichung mässiger Dosen völlig ungiftig sind. Als solche nenne ich das in meinem Institute von W. Frieboes entdeckte neutrale Guajakrindensaponin, die von mir kürzlich als ein Saponin besonderer Art erkannte Glycyrrhizinsäure[1]) und endlich die jetzt von mir gefundenen Saponine der Blätter und Wurzel der Zucker- und der Futterrübe. Eine Kuh kann von Blättern der letztgenannten Pflanzen sowie von Futterrübenknollen ohne Schaden täglich über 20 Kilo, ja bis 25 Kilo verzehren, worin über 100 Gramm Saponine enthalten sind. Solche Saponine kann man doch nicht mehr als Gifte bezeichnen. Dass vereinzelt Kühe danach erkranken, weiss ich wohl; es ist aber sehr leicht denkbar, dass dabei die sehr beträchtlichen Mengen von Oxalsäure und anderen schädlichen Neben-

[1]) Die Publikation darüber folgt später.

substanzen die Hauptschuld tragen. Wie ich der erste war, der vor Zusatz der giftigen Glieder der Saponingruppe zu Nahrungs- und Genussmitteln warnte, so muss ich auch der erste sein, der die Einschränkung des polizeilichen Verbotes des Zusatzes von Saponinen z. B. zu Schaumgetränken auf die giftigen Glieder fordert, die ungiftigen aber freigegeben zu haben wünscht. Eine Kohlensäurelimonade mit Rübensaponin ist unter allen Umständen einer saponinfreien vorzuziehen, da die erfrischende Wirkung der Kohlensäure sich nach dem Eingiessen ins Glas ausserordentlich viel länger erhält, als wenn das das Entweichen der Kohlensäure verhindernde Saponin fehlt. Hier handelt es sich also nicht um eine Täuschung oder Schädigung des Publikums. Man kann höchstens fordern, dass solche Limonaden als Rübensaponinlimonaden deklariert werden, also z. B. als „Himbeerlimonade mit Rübensaponin". Auch gegen eine gesetzliche Fixierung des Maximalgehaltes solcher Getränke an Saponin habe ich nichts einzuwenden; dieser kann sogar recht niedrig gegriffen werden. Wie die Nahrungsmittelämter die Rübensaponine von anderen Saponinen unterscheiden können, darüber werden weitere Versuche von uns angestellt werden.

Nun bezieht sich alles bisher von mir über die Unschädlichkeit der Rübensaponine Gesagte aber auf die Kuh. Die Hygieniker und Nahrungsmittelämter werden daher einwenden, dass trotzdem die Chenopodiaceensaponine doch für den Menschen recht giftig sein können, da seine Verdauungsorgane ja total anders arbeiten als die der Kuh. Aber dieser Einwand ist nicht stichhaltig, denn ich habe auch in einer als Menschennahrung alltäglich, sogar für Kinder im zartesten Alter verwandten Gemüsepflanze, im Spinat, zwei analoge Saponine in ungefähr gleichen Mengen nachweisen können, und zwar selbst in Büchsenspinat, der zwei Jahre gestanden hatte, so dass also auch der Einwand, dass es sich vielleicht um leicht zersetzliche, nach dem Kochen verschwindende Saponine handele, nicht gemacht werden kann. In der Portion Spinat, welche ein einjähriges Kind zum Mittag isst, ist aber weit mehr Saponin enthalten, als in der Tagesportion von Limonade, die ein erwachsener Mensch am heissesten Sommertag innerhalb 24 Stunden zu trinken vermag.

Nun wird mir gewiss von älteren Nahrungsmittelchemikern und Aerzten erwidert werden, dass man ja das erste Abkochwasser

des Spinats, welches die Hauptmenge der Saponine enthält, wegzuwerfen pflege. Diesen Gegnern muss ich jedoch antworten, dass sie auf einem ganz veralteten Standpunkte der Küchenchemie stehen geblieben sind. Die jüngeren Hausfrauen und Mütter haben dies Weggiessen sich schon längst als Verschwendung abgewöhnt; der verstorbene Lahmann hat dagegen in Schriften energischen Protest erhoben. Hier in Rostock ist mir mehr als eine Professorenfamilie bekannt, deren Kinder bei nicht abgegossenem Spinat prächtig gediehen sind. Man wird mir also zugeben müssen, dass für gesunde Kinder das Weggiessen des Spinatwassers überflüssig ist. Ob es in Anstalten für Magen-Darmkranke unter Umständen Sinn hat, ist eine Frage, deren Erörterung nicht hierher gehört.

So ungiftig nun auch die Chenopodiaceensaponine sich bei innerlicher Darreichung erweisen, so kann man einige davon biologisch mittelst roter Blutkörperchen leicht und sicher nachweisen. Diese lösen aus serumfreien roten Blutkörperchen, z. B. von Hunde-, Menschen-, Kaninchen- und Rinderblut, noch bei grosser Verdünnung das Hämoglobin aus; nur Hammelblut ist recht unempfindlich dagegen. Serumhaltiges, mit physiologischer Kochsalzlösung verdünntes defibriniertes Blut ist überhaupt nicht ganz so empfindlich wie isolierte, gewaschene Blutkörperchen; immerhin wird es von diesen Chenopodiaceensaponinen auch noch bei mehr als 1000facher Verdünnung prompt hämolysiert. Dass nach innerlicher Darreichung dies nicht eintritt, hat seinen Grund darin, dass sich im unverdünnten Blutserum reichlich Cholesterin (ob frei?) findet, welches sich mit den Saponinen zu Saponincholesteriden verbindet, deren blutkörperchenzerstörende Wirkung so gut wie Null ist.

Setzt man Fische in Wasser, welches diese Saponine in sehr grosser Verdünnung enthält, so sterben sie unter den für alle bekannteren Saponine charakteristischen Erscheinungen. Auch dieses spricht dafür, dass unsere in Rede stehenden Substanzen, auch wenn wir zurzeit ihre elementare Zusammensetzung noch nicht kennen, zu den echten Saponinen gerechnet werden müssen.

Wie ich oben schon sagte, gilt die starke Wirkung auf Blut nur für einige der Chenopodiaceensaponine. Dieser Satz ist auch auf die Fischwirkung auszudehnen.

Kocht man die wässerigen Lösungen der Chenopodiaceensaponine eine Stunde lang auf dem Wasserbade unter Zusatz von

verdünnter Schwefel- oder Salzsäure, so tritt ein mindestens partieller hydrolytischer Zerfall in ein Kohlehydrat und ein Sapogenin ein. Eine analoge Sapogeninbildung tritt vermutlich auch im Darmkanal der Kühe, Kaninchen und Menschen nach innerlicher Darreichung von Spinat oder Rüben wenigstens teilweise ein; jedenfalls konnte ich für einige andere mild wirkende Saponine dies nachweisen. Nähere Angaben darüber werden später folgen. Die durch einstündiges Zerkochen gewonnenen Chenopodiaceensapogenine gehören ihrer Wirkung nach zur Gruppe der sogenannten Anfangssapogenine oder Prosasapogenine. Sie sind in verdünnten Alkalien löslich und besitzen zum Teil ebenfalls ausgesprochene hämolytische Wirkung.

Die Verwendbarkeit einiger Chenopodiaceensaponine dürfte nach meiner Meinung eine vielseitige sein. Ich denke an Zusatz zu Limonaden, Emulsionen, Mundwässern, Zahnpulvern, Waschpulvern, Rasierpulvern, Kohlensäurebädern usw. Auch in der Färbetechnik sind sie sehr gut verwendbar, da sie gewisse Farbstoffe adsorbieren. In den Samen des als Mittel gegen Ascariden viel benutzten Chenopodium ambrosioides var. anthelminthicum konnte ich neben dem spezifisch wirksamen Ascaridol auch Saponine nachweisen, die die Wirkung bei Darreichung der gepulverten Samen gewiss unterstützen. Gegen Bandwurm sind verschiedene saponinhaltige Drogen mit Erfolg und ohne Gefahr seit Alters für den Menschen verwendet worden; ich nenne z. B. Albizzia anthelminthica. Es ist keineswegs unwahrscheinlich, dass einige Chenopodiaceensaponine in gleichem Sinne wirken. Als unschädliche Expektorantien dürften sie sich z. B. in Bonbonform verwenden lassen.

Mitteilung über weitere Chenopodiaceensaponine wird anderweitig erfolgen.

Sitzungsprotokolle.

Sitzung am 1. Februar 1913 im physiologischen Institut.

Als neues Mitglied wird Herr Privatdozent Dr. Muthmann aufgenommen.

Sodann erfolgt seitens des Schriftführers die Verlesung des Jahresberichts, gegen den Einwendungen nicht erhoben wurden.

Hierauf spricht Herr Ule

Ueber das Bergland von Brasilien (Referat S. 7, Abt. I)

und illustriert seinen Vortrag durch zahlreiche Lichtbilder.

Der Bericht der beiden zu Kassenrevisoren erwählten Herren Bornhöft und Gonnermann ergibt die Richtigkeit der Abrechnung, worauf dem Schriftführer Entlastung erteilt wird.

Sitzung am 15. Februar im anatomischen Institut.

Der Vorsitzende, Herr R. Kobert, widmet dem jüngst verstorbenen ältesten Mitgliede, Herrn Direktor Adolf Raddatz einen warmempfundenen Nachruf und teilt mit, dass der Verstorbene unserer Gesellschaft seine Sammlungen mecklenburgischer Coleopteren, Hymenopteren, Orthopteren, Hemipteren, insbesonders aber seine sich eines bedeutenden Rufes erfreuende umfangreiche Dipterensammlung vermacht hat, die vom Vorstande entsprechend dem Wunsche des Stifters, dem zoologischen Institut der Universität überwiesen wurden.

Sodann spricht Herr Walter

1. Ueber eine neue elektive Nervenfärbung. (Referat S. 1, Abt. I.)
2. Ueber den histologischen Bau der Zirbeldrüse. (Referat S. 3, Abt. I.)

Vorträge, die durch Demonstration mikroskopischer Präparate sowie Originalzeichnungen erläutert wurden.

Nach der sich anschliessenden Diskussion, an der die Herren v. Brunn, Kobert, Schwalbe, Muthmann beteiligt waren, hält

Herr Martini-Hamburg, Vertreter der Firma Zeiss, Vorträge

1. Ueber Mikroprojektion auch im polarisierten Licht.

Dieser Vortrag wird durch Vorführung eines neuen kleinen Zeissschen Mikroprojektionsapparates, der nur eine Stromstärke von 5 Ampère erfordert und dabei eine Projektion mittels Oelimmersion zulässt, erläutert. Sowohl die Bilder im gewöhnlichen, wie im polarisierten Licht waren von ausserordentlicher Helligkeit und Schönheit.

2. Ueber neue optische Erfahrungen auf dem Gebiet der Mikroskopie.

Nach einer Skizze über die Entwicklung des modernen Mikroskopbaues und insbesondere des Anteils, den der verstorbene Abbe an derselben genommen, schildert Redner zunächst die Einrichtungen für Mikroskopie im ultravioletten

Licht und demonstriert sodann die Untersuchung bei Dunkelfeldbeleuchtung. Zum Schlusse führt er an einem aufgestellten Mikroskop die zweckmässige Verwendung künstlicher Lichtquellen vor. Nachdem der Vortragende eine Reihe an ihn gestellter Fragen beantwortet, wurde ihm vom Vorsitzenden der Dank der Gesellschaft für die höchst instruktive Vorführung ausgesprochen.

Sitzung am 3. Mai im pathologischen Institut.

Aufgenommen wurden die Herren Dr. K. Lübben, Apotheker Seehaus und Dr. Joh. Fischer.

1. Herr Sieburg spricht
   Ueber Strophantinsäure.

Diskussion: Herr R. Kobert, Herr Stoermer, Herr Sieburg.

2. Herr Josephy:
   Ueber Anophthalmie beim Hühnchen. (Referat S. 25, Abt. I.)

Diskussion: Herr Barfurth, Herr Schwalbe, Herr Peters.

3. Herr Fischer:
   Gibt es spezifische mit dem Abderhaldenschen Dialysierverfahren nachweisbare Schutzfermente im Blutserum Geisteskranker? (Referat S. 11, Abt. I.)

Diskussion: Herr Schwalbe, Herr Barfurth.

Ausserordentliche Sitzung am 24. Mai in der Aula der Universität.

Herr Prof. A. Schwalbe-Berlin hält einen Vortrag über
Das Klima von Mecklenburg.

Der Vortrag findet sich in ausführlicher Form, begleitet von 6 Karten, im Abschnitt II, Abhandlungen, S. 211 abgedruckt.

In einer kurzen vorhergehenden Sitzung wurden die Herren Dr. Fritz Goerbig und Prof. Dr. Reinhardt als neue Mitglieder aufgenommen.

Sitzung am 31. Mai in der Rostocker Luftwarte.

Herr Kümmell
demonstriert die Luftwarte und erläutert z. T. unter Vorführung der entsprechenden Apparate die zur Anwendung kommenden Methoden.

Sitzung am 5. Juli im zoologischen Institut.

Als neue Mitglieder werden aufgenommen
die Herren Verhein, Dr. Harms, Dr. Balzer, Veterinärrat Hilbrandt, Dr. Stahl.

Sodann spricht Herr Will

1. Ueber den Einfluss des Hungers auf die Hydroiden und seine kausale Beziehung zum Polymorphismus. (Referat S. 33, Abt. I.)
2. Ueber Acaulis primarius Stimps, einen neuen Ostseebewohner. (Referat S. 57, Abt. I.)

An die Vorträge schloss sich eine Demonstration.

Sitzung am 19. Juli 1913 im chemischen Institut.

Herr Michaelis spricht über
Neuere Untersuchungen über das Chlorophyll. (Referat S. 63, Abt. I.)

Sitzung am 1. November 1913.

Als neue Mitglieder werden aufgenommen die Herren:
Dr. Weinberg, Dr. M. Kuczinski, Dr. G. Schneider.

Zum korrespondierenden Mitglied wird der frühere langjährige Schriftführer der Gesellschaft
Herr Professor Dr. Johannes Müller-Düsseldorf
gewählt.

Sodann hält Herr Schröder den angekündigten Vortrag
Ueber die zeitlichen Schwankungen von Ovulation und Menstruation,
der durch Demonstration zahlreicher Tafeln illustriert wird.

An den Vortrag schliesst sich eine längere Diskussion, an der die Herren Winterstein, Schwalbe, Kobert, Wolff, Reinhardt, v. Brunn beteiligt sind.

Sitzung am 29. November im zoologischen Institut.

Als neue Mitglieder werden aufgenommen die Herren:
Dr. Walter Vogt und Dr. Hans Anders.

Sodann spricht zunächst Herr Will

1. Ueber Acaulis primarius Stimps als Ueberrest einer Eismeerfauna der Ostsee.
2. Ueber kolloidale Substanz als Kraftquelle mikroskopischer Maschinen.

Dieser Vortrag erscheint als erste Abhandlung des Jahrgangs 1914 in den „Abhandlungen der Königl. Preuss. Akademie d. Wiss.“, Physik.-mathem. Klasse.

Hierauf folgt ein Vortrag von Herrn Muthmann:
„Ueber Mitochondrien“ mit Demonstration mikroskopischer Präparate.

Sitzung am 13. Dezember 1913 im pathologischen Institut.

Die satzungsgemässe Vorstandswahl ergab die Neuwahl des bisherigen Vorstandes:

I. Vorsitzender: Herr R. Kobert.
II. Vorsitzender: Herr R. Stoermer.
Schriftführer: Herr L. Will.

Herr Gassner hielt den angekündigten Vortrag

Ueber Heuschreckenschäden und ihre Bekämpfung

der an der Hand von Lichtbildern erläutert wird.

Herr Kobert spricht

Ueber zwei bisher unbekannte Substanzen der Zuckerrübe und ihrer Samen. (Referat S. 89, Abt. I.)

An beide Vorträge schloss sich eine lebhafte Diskussion. Als neue Mitglieder werden angemeldet die Herren:

Dr. Martin Heinrich, Abteilungsvorstand an der landwirtschaftlichen Versuchsstation.

Rudolf Weber, Assistent am nahrungsmittelchemischen Institut.

Tauschverkehr

der Naturforschenden Gesellschaft zu Rostock.

Die im Lauf des Jahres 1913 eingegangenen Schriften sind hinter dem Titel der tauschenden Gesellschaften vermerkt. Der Sekretär bittet ergebenst, diese Eintragungen als Empfangsbestätigung ansehen zu wollen und bringt zugleich hiermit den Dank unserer Gesellschaft für die erfolgte Zusendung zum Ausdruck.

1. Adelaide, Australien. Royal Society of South Australia.
2. Amsterdam, Holland. Kon. Zoologisch Genootschap „Natura Artis Magistra".
3. Amsterdam, Holland. Genootschap ter Bevordering van Natuur-Genees en Heelkunde:
   Werken:
4. Baltimore, Maryland, U. S. A. Johns Hopkins University:
   a) Circulars 1912 (No. 2—10), 1913 (No. 1—6).
5. Barcelona, Spanien. Real Academia de Ciencias y Artes.
6. Bergen, Norwegen. Bergens Museum:
   a) Aarsberetning 1912.
   b) Aarbog 1912, Heft 1, 2, 3, 1913, Heft 1, 2.
7. Berkeley, California, U. S. A. The Exchange Department, University of California Library.
   University of California Publications:
   a) Pathology vol. 1, vol. 2 (No. 9, 10).
   b) Physiology vol. 4 (No. 16, 17).
   c) Div. Separata.
8. Berlin. Physiologische Gesellschaft:
   a) Verhandlungen Jahrg. 37 (1912).
   b) Sonderabdrucke.
9. Berlin. Fischerei-Verein für die Provinz Brandenburg:
   Mitteilungen Bd. III, Heft 10, 12 (1911).
   Bd. IV, Heft 11, 12. Bd. V, 1—10.
10. Berlin. Deutscher Fischerei-Verein:
    Allgemeine Fischereizeitung 1913 (No. 1—24).

11. Berlin. Gesellschaft naturforschender Freunde.
12. Berlin. Deutsches Bureau der Internationalen Bibliographie.
13. Bologna. Reale Accademia delle Scienze dell' Instituto di Bologna. Classe di Scienze fisiche e matematiche.
14. Bonn. Naturhistorischer Verein der preussischen Rheinlande und Westfalens:
    a) Verhandlungen Bd. 69 (1913).
    b) Sitzungsberichte 1912.
15. Boston. U. S. A. Society of Natural History.
16. Boston. U. S. A. Physiological Society.
17. Boston. U. S. A. Harvard Medical School.
18. Boston. U. S. A. Society of Natural History.
19. Breslau. Universitätsbibliothek.
20. Brüssel, Belgien. Académie Royale de Médecine.
21. Brüssel, Belgien. Académie Royale des Sciences.
22. Brüssel, Belgien. Musée Royal d'histoire naturelle.
23. Budapest, Ungarn. Ungarische Akademie der Wissenschaften:
    a) Almanach 1912.
    b) Rapport 1911.
    c) Mathem.-Naturw. Berichte. Vol. 28 (1910), vol. 29 (1911).
24. Budapest, Ungarn. Königl. Ungarische Naturwissenschaftl. Gesellschaft.
    a) Botanische Sektion:
       Botanikai Közlemények Bd. 11.
    b) Zoologische Sektion:
       Allattani Közlemények.
25. Buenos Aires, Argentinien. Universidad Nacional.
26. Buenos Aires, Argentinien. Museo Nacional de historia natural.
27. Bukarest, Rumänien. Société des Sciences.
28. Cambridge, England. Philosophical Society:
    Proceedings vol. XVII, 1, 2, 3 (1913).
29. Cambridge, Mass. U. S. A. Museum of Comparative Zoology. Harward College:
    a) Bulletin vol. 53 (No. 10), vol. 54 (No. 16—19), vol. 55 (No. 2), vol. 56 (No. 1), vol. 57 (No. 1).
    b) Annual Report 1912/13.
30. Chicago. U. S. A. Academy of Sciences.
31. Chicago. U. S. A. University of Chicago.

32. Cincinati, Ohio. U. S. A. Society of Natural History.

33. Columbia, Mo. U. S. A. University of Missouri:
Bulletin Science Series vol. 1 (1—6), vol. 2 (1, 2).

34. Cold Spring Harbour, Suffolk, Co., N. Y. U. S. A.
Biological Laboratory.

35. Cleveland, O. U. S. A. Western Reserve University.

36. Christiania, Norwegen. Videnkabs Selskabet.

37. Cordoba, Argentinien. Academia Nacional de Ciencias exactas.

38. Dublin, Irland. Royal Dublin Society:
a) Scientific Proceedings vol. XIII, No. 27—39 (1913).
b) Economic Proceedings vol. II, No. 6 (1913).

39. Düsseldorf. Medizinische Akademie.

40. Edinburgh, Schottland. Royal Society of Edinburgh:
a) Proceedings vol. XXXII (1—5, 1912), vol. XXXIII (1—3, 1913).
b) Transactions vol. 49 P. 1 (1912).

41. Erlangen. Physikalisch-medizinische Societät zu Erlangen:
Sitzungsberichte Bd. 44 (1912).

42. Frankfurt a./M. Physikalischer Verein:
Jahresbericht 1911/12.

43. Frankfurt a./M. Senckenbergische Gesellschaft.

44. Freiburg i./B. Naturforschende Gesellschaft:
a) Berichte Bd. 20, Heft 1 (1913).
b) Referate aus den fachwissenschaftlichen Sitzungen: Medizinische Abteilung 1911.

45. Genf, Schweiz. L'Institut National Genevois.

46. Genf, Schweiz. Société de Physique et d' Histoire naturelle.

47. Giessen. Oberhessische Gesellschaft für Natur- u. Heilkunde:
Berichte. Naturwissenschaftliche Abteil. Bd. 1, 2, 3, 4, 5.

48. Göttingen. Königl. Gesellschaft der Wissenschaften:
a) Nachrichten (Mathem.-physik. Klasse) 1912 Heft 7 und Beiheft, 1913 Heft 1—3.
b) Geschäftliche Mitteilungen 1912 Heft 2, 1913 Heft 1.

49. Granville, Ohio. U. S. A. Denison University:
Bulletin of the Scientific Laboratories.

50. Graz. Oesterreichischer Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark.
Mitteilungen Bd. 46, 47, 48, 49 (1913).

51. Greifswald. Universitätsbibliothek.

52. Greiz. Verein der Naturfreunde zu Greiz: Abhandlungen und Berichte.

53. Groningen, Holland. Natuurkundig Genootschap.
Verslag 1911.

54. Guben. Niederlausitzer Gesellschaft für Anthropologie und Altertumskunde:
Mitteilungen.

55. Haarlem, Holland. Musée Teyler.

56. Haarlem, Holland. Holländische Gesellschaft der Wissenschaften.

57. Halle a./S. Kaiserlich Leopoldinisch-Carolinische Akademie der Naturforscher:
Nova Acta Bd. 95 Heft 2, Bd. 96 Heft 1, 3, Bd. 97 Heft 1—16, Bd. 98 Heft 2.

58. Hamburg. Naturwissenschaftlicher Verein:
a) Verhandlungen 1909, 1910, 1911.
b) Abhandlungen Bd. XIX Heft 1—5, Bd. XX Heft 1 (1912).

59. Heidelberg. Naturhistorisch-Medizinischer Verein:
Verhandlungen, N. F. Bd. 12 Heft 2, 3 (1912).

60. Helder, Holland. Zoologische Station der Nederlandsche Dierkundige Vereeniging:
Tijdschrift II. Ser., Deel XII, Lief. 3 (1912).

61. Helgoland. Königliche Biologische Anstalt.

62. Helsingfors, Finland. Societas Scientiarum Fennica.

63. Hermannstadt, Siebenbürgen. Siebenbürgischer Verein für Naturwissenschaften.

64. Jassy, Rumänien. Societatea de Medici si Naturalisti.

65. Jassy, Rumänien. Societatea de Stiinti.

66. Jena. Medizinisch-Naturwissenschaftliche Gesellschaft.

67. Innsbruck. Oesterreich. Universitätsbibliothek.

68. Jowa City, Jowa. U. S. A. State University of Jowa.

69. Ithaka, N. Y. U. S. A. Cornell University.

70. Karlsruhe. Naturwissenschaftl. Verein in Karlsruhe i./B.:
Verhandlungen Bd. 25 (1911/12).

71. Kasan, Russland. Kaiserliche Universität.

72. Kasan, Russland. Société physico-mathématique.

73. Kharkow, Russland. Société des naturalistes à l'Université de Kharkow:
Travaux.

74. Kiel. Anthropologischer Verein in Schleswig-Holstein:
Mitteilungen.

75. Kiel. Universitätsbibliothek.

76. Kiew, Russland. Société des Naturalistes:
Mémoires Bd. 23, Lief. 1, 2, 3 (1913).

77. Kiew, Russland. Kaiserl. Wladimir-Universität.

78. Köln a./Rh. Akademie für praktische Medizin.

79. Königsberg i./Pr. Physikal. Oekonom. Gesellschaft.

80. Königsberg i./Pr. Landwirtschaftlicher Centralverein:
Jahresbericht 1912.

81. Kopenhagen, Dänemark. Kong. Danske Videnskabernes Selskab. Kjobenhavn:
Oversigt over Forhandlingen 1913, No. 1—5.

82. Kopenhagen, Dänemark. Naturhistorisk Forening Kjobenhavn:
Videnskabelige Meddelelser Bd. 64 (1913), Bd. 65 (1913).

83. Kopenhagen, Dänemark. Dänische Biologische Station.

84. Krakau, Galizien. Akademie der Wissenschaften: Bulletin (Anzeiger) Mathem.-Naturw. Klasse:
Ser. A. Mathematische Wissenschaften 1912 (No. 9, 10), 1913 (No. 1—3).
Ser. B. Biologische Wissenschaften 1912 (No. 8—10), 1913 (No. 1, 2).

85. Kyoto, Japan. The College of Sciences and Engineering. Imperial University:
Memoirs vol. IV, 1, 2, vol. V, 1.

86. Lausanne, Schweiz. Institut Agricole de Lausanne:
Observations météorologiques.

87. Lausanne, Schweiz. Société Vaudoise des Sciences naturelles:
Bulletin.

88. Lawrence, Kansas. U. S. A. University of Kansas.

89. Leipzig. Königliche Gesellschaft der Wissenschaften.

90. Lemberg, Galizien. Polnischer Naturforscher-Verein „Kopernicus“.
Kosmos Bd. 37 Heft 10—12 (1912), Bd. 38 Heft 4—9 (1913).

91. Lincoln, Nebr. U. S. A. University of Nebrasca.

92. Lissabon, Portugal. Sociedade Portugueza de Sciencias Naturais.

93. Lissabon, Portugal. Academia des Sciencias.

94. London, England. Royal Society.

95. Lübeck. Naturhistorisches Museum:
Mitteilungen der geographischen Gesellschaft und des naturhistorischen Museums II. Ser. Heft 26 (1913).

96. Lüttich, Belgien. Université.

97. Lund, Schweden. Universitets Bibliotheket:
Lunds Universitets Årskrift (Acta Univ. Lundensis) U. S. Bd. 8, 1912.

98. Madison, Wis. U. S. A. University of Wisconsin.

99. Madison, Wis. U. S. A. Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters.

100. Magdeburg. Museum für Natur- und Heimatkunde:
Abhandlungen und Berichte.

101. Madrid, Spanien. Real Academia de Ciencias exactas.

102. Madrid, Spanien. Real Sociedad Española de Historia natural.
a) Bolletin vol. 13, No. 10 (1913).
b) Memorias vol. 9, No. 2 (1913).

103. Manchester, England. Victoria University Library.

104. Manchester, England. Museum.

105. Marburg. Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften.

106. Melbourne, Victoria, Australien. The Royal Society of Victoria:
Proceedings vol. 25, P. I, 1912, vol. 26, P. I, 1913.

107. Milwaukee, Wis. U. S. A. Public Museum of the City of Milwaukee.
Bulletin vol. 1 (1, 2).

108. Milwaukee, Wis. U. S. A. Natural History Society.
Bulletin vol. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.

109. Minneapolis, Minn. U. S. A. Zoological Survey of Minnesota.

110. Moskau, Russland. Société Impériale des Naturalistes.

111. München. Königlich Bayerische Akademie der Wissenschaften:
a) Sitzungsberichte (mathem.-physik. Klasse) 1912, Heft 2, 3, 1913, Heft 1, 2 und Register.
b) Abhandlungen (mathem.-physik. Klasse) Bd. 25 Heft 9, 10, Bd. 26 Heft 1–6.
c) O. Doflein. Beiträge zur Naturgeschichte Ostasiens.
d) C. v. Linde. Physik und Technik auf dem Wege zum absoluten Nullpunkt.

112. Neapel, Italien. Reale Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche:
Rendiconto 1912 (No. 10—12), 1913 (No. 1—5).

113. New Brunswick, New Jersey. U. S. A. Agricultural Experiment Stations.

114. Newcastle-on-Tyne, England. The Natural History Society of Northumberland, Durham and Newcastle-on-Tyne:
Transactions vol. XV, P. II, 1913.

115. Neu-Haven. Conn. Yale University.

116. New York, U. S. A. New York Academy of Sciences:
Annals vol. 22, p. 1—423.

117. New York, U. S. A. Pathological Society:
a) Proceedings vol. XII, No. 7, 8 (1912), vol. XIII, No. 1—4.

118. New York, U. S. A. Columbia University.

119. New York, U. S. A. New York University.

120. New York, U. S. A. Academy of Medicine.

121. Padova, Italien. Società veneto-trentina di Scienze naturali:
Atti.

122. Paris, Frankreich. Société zoologique de France.

123. St. Petersburg, Russland. Kaiserliche Gesellschaft der Naturforscher:
Travaux.
a) Comptes Rendus des Séances vol. 43, No. 1—8 (1912).
b) Section de Zoologie et Physiologie vol. 41, No. 1 (1912).
c) Section de Botanique vol. 43, No. 1, 2 (1912).
d) Section de Géologie et de Minéralogie vol. 36, No. 5 (1912).

124. St. Petersburg, Russland. Académie Impériale des Sciences.

125. St. Petersburg, Russland. Kaiserliches Institut für experimentelle Medizin.

126. St. Petersburg, Russland. Physikalisch-Chemische Gesellschaft an der Kaiserlichen Universität.

127. Philadelphia, U. S. A. Academy of Natural Sciences.

128. Pisa, Italien. Società Toscana di Scienze Naturali:
a) Atti (Processi verbali) vol. 22, No. 1.
b) Memorie vol. 28, 1912.

129. Prag, Böhmen. Königlich Böhmische Akademie der Wissenschaften:
a) Sitzungsberichte 1912.
b) Jahresbericht 1912.
c) Vejdovsky, F. Zum Problem der Vererbungsträger. Gross 4^0. 12 Taf. Prag. 1911/12.

130. Prag, Böhmen. Deutscher Naturwissenschaftlicher Verein „Lotos“.

131. Rom, Italien. Reale Accademia dei Lincei.

132. San Francisco, California, U. S. A., Library:
Proceedings vol. I, p. 289—496, vol. III p. 187—264.

133. Schlesischer Bädertag.
Jahrgang 41 (1913).

134. Sidney, Australien. Royal Society of New South Wales.

135. Sophia, Bulgarien. Universität.

136. Stanford University, California, U. S. A.:
Publications (University Series) No. 11, 12.

137. Stockholm, Schweden. Kungl. Svenska Vetenskaps-Akademien.
a) Arkiv for Botanik, Bd. 13 (Heft 1, 1913).
b) Arkiv for Kemi, Mineralogie och Geologi. Bd. 5 (Heft 1, 2, 1913).
c) Arkiv for Zoologi, Bd. 8 (Heft 1, 1913).

138. Strassburg i./Els. Universitätsbibliothek.

139. Stuttgart. Württembergischer Anthropologischer Verein:
Fundberichte. Jahrg. 20 (1912).

140. Tokyo, Japan. Medizinische Fakultät der Kaiserlichen Universität:
Mitteilungen Bd. X, 3 (1912), 4 (1913).

141. Tokyo, Japan. Tokyo Zoological Society. Imperial University:
Annotationes Zoologicae Japonenses vol. VIII, P. 2 (1913).

142. Tokyo, Japan. College of Agriculture. Imperial University:
Journal vol. I, 4, vol. V, 1, 2.

143. Topeka, Kansas, U. S. A. The Kansas Academy of Sciences.

144. Torino, Italien. Museo di Zoologia ed Anatomia comparata:
Bollettino vol. 25 (1910), vol. 27 (No. 645—664).

145. Toronto, Canada. Universitätsbibliothek.
Studies (Biological Series) No. 12—14 (1912).
Studies (Physiological Series) No. 8, 9 (1912)
Studies (Geological Series) No. 8 (1913).

146. Trondhjem, Norwegen. Kongelige Norske Videnskabers Selskabs:
Skrifter 1912.

147. Urbana, Ill. U. S. A. Illinois State Laboratory of Natural History.

148. Upsala, Schweden. Kungl. Vetenskaps Societetens Bibliothek:
Nova Acta Regiae Societatis Scientiarium Upsalensis Ser. IV, vol. 3, Heft 3—7 (1913).

149. Utrecht, Holland. Provinciaal Utrechtsche Genootschap van Kunsten en Wetenschappen:
a) Verslag 1913.
b) Aanteckeningen 1913.

150. Washington, U. S. A. National-Museum.

151. Washington, U. S. A. Smithonian Institution:
Micellanious Collections: vol. 60 (No. 13, 14, 15, 17, 19—22, 26—28.

152. Wien, Oesterreich. K. K. Naturhistorisches Hofmuseum.

153. Wien, Oesterreich. K. K. Akademie der Wissenschaften.

154. Wien, Oesterreich. K. K. Zoologisch-Botanische Gesellschaft.

155. Wien, Oesterreich. K. K. Gesellschaft der Aerzte.

156. Würzburg. Physikalisch-Medizinische Gesellschaft.

157. Zürich, Schweiz. Physikalische Gesellschaft.
Mitteilungen.

158. Zürich, Schweiz. Zürcherische Naturforschende Gesellschaft:
Vierteljahrsschrift Bd. 27 (1912), Bd. 28, 1, 2 (1913).

Von Einzelwerken sind eingegangen:

Bonnesen, E. P., Bøggild, O. B. und Ravn, J. P. J. Carlsbergfondets Dybdeboring in Grøndels Eng ved København 1894—1907. København 1913.

Zimmermann, H. Bericht der Hauptsammelstelle für Pflanzenschutz in Mecklenburg etc. für das Jahr 1912. Stuttgart 1913.

Zimmermann, H. Einige Beobachtungen über die Johannisbeergallmilbe 1913.

Die Herren Mitglieder der Naturforschenden Gesellschaft werden freundlichst ersucht, Ihre Wünsche betreffend der Ausdehnung des Tauschverkehrs dem Schriftführer mitteilen zu wollen. Nur durch Zusammenwirken der Vertreter der verschiedenen naturwissenschaftlich-medizinischen Disziplinen kann eine einseitige Ausgestaltung der Tauschverbindungen vermieden werden.

Mitglieder-Verzeichnis

der Naturforschenden Gesellschaft zu Rostock.

(1. Januar 1914.)

Ehrenpräsident:

Se. Hoheit Herzog Adolf Friedrich zu Mecklenburg, Kaiserl. Gouverneur von Togo. — Lome (Togo).

I. Vorstand:

I. Vorsitzender:	Geheimer Medizinalrat Prof. Dr. R. Kobert.	St. Georgstr. 72.
II. „	Prof. Dr. R. Stoermer.	Schröderstr. 49.
Schriftführer:	Prof. Dr. L. Will, zugleich Herausgeber der Vereinsschrift.	Haedgestr. 35.

II. Ehrenmitglieder:

1.	Geheimrat Prof. Dr. Friedrich Merkel.	Göttingen.
2.	Prof. Dr. Alexander Goette.	Strassburg.

III. Korrespondierende Mitglieder:

1.	Prof. Dr. Johannes Müller.	Düsseldorf, Kronprinzenstrasse 49.

IV. Ordentliche Mitglieder:

1.	Adam, A., prakt. Arzt.	Erlangen, Physiologisches Institut.
2.	Anders, H., Dr., Oberarzt.	Alexandrinenstr. 76.
3.	Balzer, Dr. med. vet.	Orleansstr. 5.
4.	Barfurth, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Graf Schackstr. 7.
5.	Baumann, E., Dr., Abteilungsvorstand a. d. landwirtschaftl. Versuchsstation.	Landwirtschaftl. Versuchsstation.

6.	Bennecke, Prof. Dr.	Friedrich Franzstr. 89.
7.	Best, Dr., Privatdozent.	Orleansstr. 14.
8.	Biermann, Werner, Rittergutsbesitzer.	Gr.-Lüsewitz.
9.	Birgfeldt, P., Zahnarzt.	Friedrich Franzstr. 1 c.
10.	Bornhöft, E., Prof. Dr.	St. Georgstr. 84.
11.	Brüning, Prof. Dr.	St. Georgstr. 102.
12.	v. Brunn, Dr., Spezialarzt.	Augustenstr. 110.
13.	Büttner, Prof. Dr.	Friedrich Franzstr. 37 d.
14.	Burchard, Dr., Privatdozent.	Augustenstr. 122.
15.	Dettweiler, Dr., Privatdozent.	Lloydstr. 16.
16.	Dilling, Walter, Dr.	Aberdeen, Schottland, Gladstone Place 2.
17.	Disqué, Ludwig, Dr.	Johann Albrechtstr. 17.
18.	Dragendorff, Kurt, Dr.	Güstrow, Chemische Fabrik.
19.	Dugge, Dr., Sanitätsrat, Privatdozent.	Augustenstr. 26.
20.	Eberhard, Dr., Spezialarzt.	Augustenstr. 8.
21.	Ehrich, Prof. Dr.	St. Georgstr. 100.
22.	Falkenberg, Prof. Dr., Geh. Hofrat.	Friedrich Franzstr. 37 a.
23.	Fischer, Joh., Dr., Assistent an der Irrenanstalt.	Gehlsheim.
24.	Franke, Dr., Privatdozent.	Lloydstr. 17.
25.	Frieboes, Dr., Privatdozent.	Augustenstr. 126.
26.	Friese, Heinrich, Dr., Entomolog.	Schwerin, Kirchenstrasse.
27.	Gartenschläger, Dr., Oberlehrer.	Zelckstr. 4.
28.	Gassner, G., Dr., Privatdozent.	Johann Albrechtstr. 15.
29.	Geinitz, E., Prof. Dr., Geh. Hofrat.	Augustenstr. 25.
30.	Gildemeister, E., Rittergutsbesitzer.	Dummerstorf b. Kavelstorf.
31.	Goerbig, Fritz, Dr., Assistent am physiologischen Institut.	Paulstr. 21.
32.	Gonnermann, Dr., Chemiker.	Tessiner Chaussee 6.
33.	Gross, Betriebschemiker.	Schnickmannstr. 35/36.
34.	Grünberg, Dr., Privatdozent.	Bismarckstr. 3.
35.	Hanser, Dr., Privatdozent.	Lloydstr. 18.
36.	Harms, F., Dr.	Neue Werderstr. 29.
37.	Hauser, Dr., Privatdozent.	Doberanerstr. 142.
38.	Hausmann, Dr., Hofrat.	Prinz Friedrich Karlstr. 2.
39.	Heiden, Dr., Hauptlehrer.	Güstrow, Chemische Fabrik.
40.	Heilmann, Dr., Fabrikbesitzer.	Alexandrinenstr. 95.
41.	Henczynski, Dr., Sanitätsrat.	Kaiser Wilhelmstr. 2.
42.	Heydweiller, Prof. Dr.	Zelckstr. 17.
43.	Hilbrandt, G., Veterinärrat, Kreistierarzt.	Berlin W. 3, Martin Lutherstrasse 10.
44.	Hildebrandt, Dr., Hauptmann a. D.	Landwirtschaftl. Versuchsstation.
45.	Honcamp, Prof. Dr.	Schröderstr. 24.
46.	Hosemann, Prof. Dr.	Beguinenberg 25.
47.	Josephy, Dr., Assistent am pathol. Institut.	

48.	R. Kobert, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat, I. Vorsitzender.	St. Georgstr. 72.
49.	K. Kobert, Dr., Abteilungsvorstand am Landesgesundheitsamt.	Orleansstr. 4.
50.	Körner, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Friedrich Franzstr. 65.
51.	Konow, Hofapotheker.	Bei der Marienkirche 18.
52.	Kühn, Prof. Dr.	St. Georgstr. 18.
53.	Kümmell, Prof. Dr.	St. Georgstr. 16.
54.	Kulenkampff, J., Gutsbesitzer.	Kl.-Kussewitz b. Mönchhagen.
55.	Kunckell, Prof. Dr.	Chemisches Institut.
56.	Kuczynski, Dr., Assistent am physiol. Institut.	Schillerstr. 23.
57.	Lechler, Dr., Sanitätsrat.	Augustenstr. 13.
58.	Lehmann, Dr., Assistent a. d. chirurg. Klinik.	Universitäts-Krankenhaus.
59.	Leiske, H., Apotheker.	Kossfelderstr. 9.
60.	Leonhardt, R., Ingenieur.	Göbenstr. 15.
61.	Lindenberg, Dr., Assistent an der chirurgischen Klinik.	Schrödersplatz 1 a.
62.	Lorenzen, Jörgen, cand. chem.	Schnickmannstr. 18.
63.	Lübben, Karl, Dr.	Berlin W. 9, Kaiserl. Telegraph. Versuchsamt, Königgrätzerstrasse 20.
64.	Lübcke, Oberlehrer.	St. Georgstr. 65.
65.	Martini, E., Dr.	Hamburg, Institut für Tropenhygiene.
66.	Martius, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Friedrich Franzstr. 7.
67.	Marung, Dr., praktischer Arzt.	Wallgrabenstr. 4.
68.	Meinertz, Prof. Dr.	Worms a. Rh.
69.	Michaelis, Prof. Dr., Geh. Hofrat.	Bismarckstr. 22.
70.	Mönnich, Prof. Dr.	Gehlsdorf.
71.	Montag, K., Assistent am pharmakol. Institut.	Haedgestr. 10.
72.	Moschner, Fabrikdirektor.	Schrödersplatz 1 a.
73.	Müller, W., Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Kaiser Wilhelmstr. 16.
74.	Müller, P., Dr., Senator.	St. Georgstr. 40.
75.	Muthmann, Dr., Privatdozent.	Wismarschestr. 6.
76.	Nagelschmidt, Franz, Dr., Spezialarzt.	Berlin W. 50, Tauenzienstr. 7B.
77.	Niewerth, R., Dr.	Augustenstr. 31.
78.	Osswald, Prof. Dr.	Paulstr. 32.
79.	Peters, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Prinz Friedrich Karlstr. 7.
80.	Pfeiffer, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Stephanstr. 4.
81.	Queckenstedt, Dr., Privatdozent.	St. Georgstr. 56.
82.	Reich, M., Dr., Nahrungsmittelchemiker.	Berlin-Neukölln, Emserstrasse 5, I.
83.	Reinhardt, Prof. Dr.	Adolf Wilbrandtstr. 2.
84.	Riemer, Prof. Dr., Oberstabsarzt.	Breslau, I. Leibkürassierregiment.

85.	Rolle, Dr., Oberlehrer.	Kirchenstr. 4.
86.	Schalhorn, Dr., Apotheker.	Neuer Markt 13.
87.	Schatz, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Loignystr. 1.
88.	Scheel, Paul Friedrich. Dr.	München, Orthopäd. Klinik, Harlachingerstr. 12.
89.	Scheven, Prof. Dr.	Bismarckstr. 4.
90.	Schlüter, Franz, Dr., prakt. Arzt.	Neuer Markt 12.
91.	Schlüter, Dr., Sanitätsrat	Gehlsheim.
92.	Schmidt, W., Dr., Spezialarzt.	Alexandrinenstr. 94.
93.	Schneider, G., Dr., Landwirt.	Augustenstr. 21.
94.	Schröder, Dr., Assistenzarzt an der Frauenklinik.	Doberanerstr. 135.
95.	Schulze, Dr., Oekonomierat.	Zuckerfabrik.
96.	Schwalbe, Prof. Dr.	Zelckstr. 12.
97.	Sarvey, Prof. Dr., Geh. Medizinalrat.	Frauenklinik.
98.	Seehaus, Apotheker.	Warnemünde.
99.	Sieburg, Apotheker, I. Assistent am pharmakologischen Institut.	Pharmakologisches Institut.
100.	Soeken, Dr., Direktor.	Friedhofsweg 29.
101.	Spemann, Prof. Dr.	Orleansstr. 15.
102.	Stahl, Richard, Dr.	Friedhofsweg 2.
103.	Stau, Bruno, Dr., Abteilungsvorstand an der landwirtschaftl. Versuchsstation.	Luisenstr. 17, I.
104.	Staude, Prof. Dr., Geh. Hofrat.	St. Georgstr. 38.
105.	Straede, Dr., Oberlehrer.	Schillerstr. 19.
106.	Stoermer, R., Prof. Dr., II. Vorsitzender.	Schröderstr. 49.
107.	Tessin, Dr., Oberlehrer.	Zelckstr. 5.
108.	Tesch, Fr., Gymnasiallehrer.	Goebenstr. 5.
109.	Toppe, Dr., Oberlehrer.	Ludwigslust.
110.	Ule, Prof. Dr.	Moltkestr. 18.
111.	Universitätsbibliothek.	Universität.
112.	Verhein, Adolf, Lehramtskandidat.	Schwerin, Helenenstr. 12.
113.	Vogt, Walter, Dr., Prosektor.	St. Georgstr. 63 a.
114.	Wachs, Horst, Assistent am zoologischen Institut.	Johann Albrechtstr. 21.
115.	Walter, Dr., Privatdozent.	Gehlsheim.
116.	Weber, Prof. Dr.	Wismarschestr. 5.
117.	Weinberg, Dr., Assistent an der medizinischen Klinik.	Universitätskrankenhaus.
118.	Wigand, G., Prof. Dr.	Graf Schackstr. 6.
119.	Wigand, Georg, Zahnarzt.	Hopfenmarkt 23.
120.	Winterstein, Prof. Dr.	Schillerplatz 10.
121.	Will, L., Prof. Dr., Schriftführer.	Haedgestr. 35.
122.	Witt, Dr., Apotheker.	Warnemünde.
123.	Witte, Fr. C., Dr., Fabrikbesitzer.	Schnickmannstr. 35/36.
124.	Wolff, Bruno, Dr., Privatdozent.	Johann Albrechtstr. 19.

125.	Wolters, Prof. Dr.	Bismarckstr. 10.
126.	Zabel, Dr., Spezialarzt.	St. Georgstr. 12.
127.	Zimmermann, H., Dr., Abteilungsvorstand an der landwirtschaftlichen Versuchsstation.	Satower Chaussee 3.

Die Herren Mitglieder werden freundlichst ersucht, Wohnungsveränderungen dem Schriftführer anzeigen zu wollen.

Mitgliederanmeldungen sind an einen der beiden Vorsitzenden oder an den Schriftführer zu richten.

II. Abhandlungen.

Die Rotationsflächen der kubischen Kegelschnitte.

Von

Otto Staude-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 7. Januar 1913.

Einleitung.

Die von Helmholtz in die physiologische Optik eingeführte Horopterkurve[1]) ist ein besonderer Fall der kubischen Ellipse. Sie gehört sowohl zu der speziellen Klasse kubischer Ellipsen, für welche der im allgemeinen hindurchgehende elliptische Zylinder in einen Rotationszylinder übergeht[2]), als auch zu der speziellen Klasse kubischer Ellipsen, für welche die im allgemeinen hindurchgehenden zwei Rotationshyperboloide in ein einziges zusammenfallen[3]).

Diese besonderen Klassen kubischer Ellipsen sind in der Literatur mehrfach hervorgetreten und von verschiedenen Ausgangspunkten aus behandelt worden, aber es fehlt doch an einer einheitlichen systematischen Uebersicht, welche zugleich die Möglichkeit bietet, etwaige weitere Spezialfälle zu erkennen und einzuordnen, wie

---

[1]) Helmholtz, Wissenschaftl. Abhandl. 2, S. 420 (1862); S. 464 (1864); Handbuch der physiologischen Optik (1867), S. 713; 752 ff; 3. Aufl. 3 (1910), S. 386; E. Hering, Beitr. zur Physiologie, 4. Heft (1864); F. Schur, Dorpater Sitzungsber. 1889, S. 162; F. Schuh, Zeitschr. Mat. Phys. 47 (1902), S. 375; Th. Reye, Geom. d. Lage 2 (1892), S. 176; R. Sturm, Geom. Verwandtschaften 2 (1908), S. 180; Catalog math. Modelle von M. Schilling in Leipzig (1911), S. 74; 133.

[2]) R. O. Consentius, Zeitschr. Math. Phys. 25 (1880), S. 119, wo diese Klasse nicht allgemein erkannt wird (vgl. Jahrb. der Fortschr. der Math. 1880, S. 512); F. Lindemann, Vorles. üb. Geom. (Raum) 2 (1891), S. 251, wo die eine Klasse mit der anderen verwechselt wird; Reye, a. a. O. S. 321.

[3]) L. Cremona, J. f. Math. 63 (1864), S. 144; W. Wirtinger, Wien. Ber. 94 (1886), S. 302; A. Hurwitz, Math. Ann. 30 (1887), S. 291.

sich denn im folgenden eine kubische Ellipse ergibt, durch die als einzige Rotationsfläche ein Rotationskegel hindurchgeht. Eine solche Uebersicht, auf die ich an anderer Stelle ausführlicher zurückkomme, soll hier in Kürze entwickelt werden.

Als Ausgangspunkt dient die Frage nach den Rotationsflächen, die durch einen kubischen Kegelschnitt hindurchgehen, eine Frage, die in unmittelbarem Zusammenhang steht mit der Lagebeziehung der unendlich fernen Kurvenpunkte zum imaginären Kugelkreis. Die Zahl und Art dieser Rotationsflächen ist im wesentlichen von L. Cremona[1]) bestimmt worden, aber es scheint bisher nicht, wie im folgenden, versucht zu sein, die Gleichungen der Rotationsflächen wirklich aufzustellen und an diese die Untersuchung der Flächen anzuknüpfen.

Wegen der metrischen Natur der Frage dürfte es naturgemäss erscheinen, dass hierbei im Gegensatz zu der üblichen Darstellungsweise wesentlich rechtwinklige Koordinaten und eine kanonische Darstellung der allgemeinen Raumkurve 3. Ordnung in solchen benutzt werden. Dadurch wird es möglich, wie es bei den Kegelschnitten und Flächen 2. Ordnung geschieht, die Bedingungen aller Spezialfälle als verschiedene analytische Gleichungen zwischen denselben kanonischen Konstanten einheitlich darzustellen.

§ 1. Der kubische Kegelschnitt und die durch ihn gehenden Flächen 2. Ordnung.

1. Die übliche Darstellung in schiefwinkligen Koordinaten. Die Parameterdarstellung der allgemeinen Raumkurve 3. Ordnung oder des kubischen Kegelschnittes in homogenen (I[2]) § 47, 1) schiefwinkligen Koordinaten ξ, η, ζ, τ lautet, von einem Proportionalitätsfaktor abgesehen[3]):

$$(1)\quad \xi = a\lambda^3,\quad \eta = b\lambda^2,\quad \zeta = c\lambda,\quad \tau = l\lambda^2 + m\lambda + n,$$

wo λ der laufende Parameter und a, b, c, l, m, n Konstanten sind mit der Bedingung:

$$(2)\quad abcn \gtrless 0.$$

---

[1]) L. Cremona, J. f. Math. 63 (1864), S. 141 ff., v. Drach, Kubische Kegelschnitte (1867), S. 76 ff.

[2]) Staude, Analytische Geometrie des Punktes, der geraden Linie und der Ebene. Leipzig 1905 (kurz als I zitiert).

[3]) Cremona, J. f. Math. 58 (1861), S. 149; v. Drach, a. a. O. S. 55.

Die vier Arten des kubischen Kegelschnittes entsprechen besonderen Werten von l, m, n und zwar ist für die kubische Ellipse (I), Hyperbel (II), hyperbolische Parabel (III) und Parabel (IV) mit einer neuen Konstanten e:

(3) I. $l = 1,\ m = 0,\ n = e^2$; II. $l = 1,\ m = 0,\ n = -e^2$;
III. $l = 0,\ m = 1,\ n = -e$; IV. $l = 0,\ m = 0,\ n = 1$.

Die Parameter der drei unendlich fernen Punkte der einzelnen Arten sind dann:

(4) I. $\lambda = \infty,\ \lambda = ei,\ \lambda = -ei$; II. $\lambda = \infty,\ \lambda = e,\ \lambda = -e$;
III. $\lambda = \infty,\ \lambda = \infty,\ \lambda = e$; IV. $\lambda = \infty,\ \lambda = \infty,\ \lambda = \infty$.

2. Uebergang auf rechtwinklige Koordinaten. Ein beliebiges schiefwinkliges System $O\xi\eta\zeta$ kann in ein rechtwinkliges System Oxyz immer so gelegt werden, dass die ξ-Achse in die x-Achse und die η-Achse in die xy-Ebene zu liegen kommt. Dann sind die Richtungskosinus der Achsen ξ, η, ζ in bezug auf das rechtwinklige System von der Form 1, 0, 0; $\alpha_2, \beta_2, 0$; $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ ($\beta_2 \gtrless 0$, $\gamma_3 \lesseqgtr 0$) und bestehen zwischen den beiderlei Koordinaten die Beziehungen [I § 37, (2)]:

(5) $x = \xi + \alpha_2\eta + \alpha_3\zeta,\ y = \beta_2\eta + \beta_3\zeta,\ z = \gamma_3\zeta,\ (t = \tau)$.

Setzt man hier die Werte (1) ein und bezeichnet die Koeffizienten wieder mit einfachen Buchstaben, so folgt:

In bezug auf ein rechtwinkliges System Oxyz lautet die Parameterdarstellung der allgemeinen Raumkurve 3. Ordnung in homogenen Koordinaten x, y, z, t:

$$(6)\quad \begin{cases} x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda, \\ y = \quad\ b\lambda^2 + b'\lambda, \\ z = \quad\ \ c\lambda, \\ t = \quad\ l\lambda^2 + m\lambda + n. \end{cases}$$

Die Angaben (2)–(4) bleiben auch für diese Darstellung bestehen.

3. Darstellung in Tetraederkoordinaten. Die Auflösung der Gleichungen (6) nach den Potenzen von λ gibt mit einem Proportionalitätsfaktor ρ[1]):

$$(7)\quad \lambda^3 = \rho y_1,\ \lambda^2 = \rho y_2,\ \lambda = \rho y_3,\ 1 = \rho y_4,$$

wo y_1, y_2, y_3, y_4 die linearen Funktionen von x, y, z, t bedeuten:

[1]) Joachimsthal, J. f. Math. 56 (1858), S. 44; Cremona, Annali di mat. (1) 1 (1858), S. 164.

$$(8)\quad \begin{cases} y_1 = n\{c(bx - a'y) + (a'b' - a''b)z\}, \\ y_2 = an(cy - b'z), \\ y_3 = abnz, \\ y_4 = a\{-cly + (b'l - bm)z + bct\}. \end{cases}$$

Da diese als Tetraederkoordinaten genommen werden können [I § 57, (1)], so hat man in (7) die Parameterdarstellung der Raumkurve (6) in den Tetraederkoordinaten y_1, y_2, y_3, y_4.

4. Flächenbündel der Raumkurve in Tetraederkoordinaten. Soll die Raumkurve (7) ganz auf einer Fläche 2. Ordnung:

$$(9)\quad b_{11}y_1^2 + b_{22}y_2^2 + b_{33}y_3^2 + b_{44}y_4^2 + 2b_{23}y_2y_3 + 2b_{31}y_3y_1 + 2b_{12}y_1y_2 + 2b_{14}y_1y_4 + 2b_{24}y_2y_4 + 2b_{34}y_3y_4 = 0$$

liegen, muss die durch Einsetzen der Werte (7) entstehende Gleichung:

$$(10)\quad b_{11}\lambda^6 + b_{22}\lambda^4 + b_{33}\lambda^2 + b_{44} + 2b_{23}\lambda^3 + 2b_{31}\lambda^4 + 2b_{12}\lambda^5 + 2b_{14}\lambda^3 + 2b_{24}\lambda^2 + 2b_{34}\lambda = 0$$

identisch in λ erfüllt sein, also:

$$(11)\quad b_{11} = 0,\ b_{12} = 0,\ b_{22} + 2b_{31} = 0,\ b_{23} + b_{14} = 0,\ b_{33} + 2b_{24} = 0,\ b_{34} = 0,\ b_{44} = 0.$$

Damit nimmt aber die Gleichung (9) die Form an:

$$(12)\quad \rho(y_2y_4 - y_3^2) + \sigma(y_2y_3 - y_1y_4) + \tau(y_1y_3 - y_2^2) = 0,$$

wenn ρ, σ, τ für b_{33}, $2b_{14}$, b_{22} geschrieben wird.

Die durch die Raumkurve (7) gehenden Flächen 2. Ordnung bilden das Bündel (12) mit zwei Parameterverhältnissen $\rho : \sigma : \tau$.

Die Flächen des Bündels sind entweder eigentliche Linienflächen 2. Ordnung, also einschalige Hyperboloide und hyperbolische Paraboloide oder, falls:

$$(13)\quad \rho\tau - \sigma^2 = 0 \text{ oder } \rho = \lambda^2,\ \sigma = \lambda,\ \tau = 1$$

ist, eigentliche Kegel und Zylinder 2. Ordnung, die Sehnenkegel der endlichen und unendlich fernen Punkte λ der Raumkurve.

5. Flächenbündel in rechtwinkligen Koordinaten. Geht man nun mittels der Beziehungen (8) wieder zu den rechtwinkligen Koordinaten über, so ergibt sich:

Jede durch die Raumkurve (6) gehende Fläche 2. Ordnung ist in der Form enthalten:

$$(14)\quad a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{23}yz + 2a_{31}zx + 2a_{12}xy + 2a_{14}xt + 2a_{24}yt + 2a_{34}zt + a_{44}t^2 = 0,$$

wo die Koeffizienten die Werte haben:

$$
\begin{aligned}
(15)\quad a_{11} &= 0,\\
a_{22} &= c^2(al\rho + a'l\sigma + an\tau),\\
a_{33} &= a(b^2n - bb'm + b'^2l)\rho + (abb'n - [a'b' - a''b]\,[bm - b'l])\sigma + (ab'^2 - a'bb' + a''b^2)n\tau,\\
2a_{23} &= c\{a(bm - 2b'l)\rho - ([an - a'm]b + [2a'b' - a''b]l)\sigma + [a'b - 2ab']n\tau\},\\
2a_{31} &= -bc([bm - b'l]\sigma + bn\tau),\\
2a_{12} &= -bc^2l\sigma,\\
2a_{14} &= b^2c^2\sigma,\\
2a_{24} &= -bc^2(a\rho + a'\sigma),\\
2a_{34} &= bc(ab'\rho + [a'b' - a''b]\sigma),\\
a_{44} &= 0.
\end{aligned}
$$

Mit den Werten (13) von ρ, σ, τ ist die Fläche der Sehnenkegel des Punktes λ der Raumkurve.

6. Die Berührungssehne der Rotationsflächen. Eine Fläche 2. Ordnung ist eine Rotationsfläche, wenn von ihren drei Hauptachsenkoeffizienten λ_1, λ_2, λ_3 zwei einander gleich sind (II [1] § 100, 1), etwa $\lambda_2 = \lambda_3$. Die Schnittkurve der Fläche mit der unendlich fernen Ebene, die im Koordinatensystem der Hauptachsen im allgemeinen die Gleichungen:

$$(16)\quad \lambda_1 X^2 + \lambda_2 Y^2 + \lambda_3 Z^2 = 0,\ T = 0$$

aufweist, hat dann die Gleichungen:

$$(17)\quad \lambda_1 X^2 + \lambda_2 (Y^2 + Z^2) = 0,\ T = 0.$$

Sie hat daher mit dem imaginären Kugelkreis:

$$(18)\quad X^2 + Y^2 + Z^2 = 0,\ T = 0$$

zweimal zwei zusammenfallende Punkte:

$$(19)\quad X^2 = 0,\ Y^2 + Z^2 = 0,\ T = 0$$

gemein, also eine doppelte Berührung.

Die Verbindungslinie $X = 0$, $T = 0$ der beiden Berührungspunkte B, B' der unendlich fernen Kurve der Fläche mit dem imaginären Kugelkreis soll kurz als die Berührungsehne der Rotationsfläche bezeichnet werden.

7. Arten der Rotationsflächen durch den kubischen Kegelschnitt. Damit eine Fläche 2. Ordnung eine Rotationsfläche sei,

---

[1] Staude, Analytische Geometrie des Punktepaares, des Kegelschnittes und der Fläche 2. Ordnung. Leipzig 1910 (kurz als II zitiert).

sind zwei Bedingungen erforderlich (II § 100, **3**). Es besteht daher die Möglichkeit, die Parameterverhältnisse $\rho : \sigma : \tau$ in (15) so zu bestimmen, dass die durch die Raumkurve (6) gehende Fläche (14) eine Rotationsfläche wird. Nach der Schlussbemerkung unter **4** kann eine solche Rotationsfläche ein einschaliges Rotationshyperboloid ($\lambda_1 \lambda_2 \angle$ o), ein Rotationskegel ($\lambda_1 \lambda_2 \angle$ o), Rotationszylinder ($\lambda_1 =$ o) oder ein parabolischer Zylinder ($\lambda_2 =$ o) sein. Der letztere ist als Rotationsfläche zu betrachten, weil seine unendlich ferne Kurve, die Doppellinie $X^2 =$ o, $T =$ o von der Gleichungsform (17), zweimal zwei zusammenfallende Punkte (19) mit dem Kugelkreis (18) gemein hat.

§ 2. Die Lage der Berührungssehnen der durch den kubischen Kegelschnitt gehenden Rotationsflächen.

1. Bestimmung der unendlich fernen Kurve. Die unendlich ferne Kurve r einer die Raumkurve 3. Ordnung enthaltenden Fläche 2. Ordnung muss durch die drei unendlich fernen Punkte E_1, E_2, E_3 der Raumkurve gehen. Diese bilden bei der kubischen Hyperbel und Ellipse (§ 1, (4), I; II), die wir zunächst ins Auge fassen, ein Dreieck. Ist die Fläche eine Rotationsfläche, so muss die Kurve r nach § 1, **6** den imaginären Kugelkreis k doppelt berühren.

Die Bestimmung der unendlich fernen Kurve r einer durch die Raumkurve 3. Ordnung gehenden Rotationsfläche 2. Ordnung kommt also darauf hinaus, einen Kegelschnitt r zu bestimmen, der durch drei gegebene Punkte E_1, E_2, E_3 geht und einen gegebenen Kegelschnitt k doppelt, in zwei Punkten B, B', berührt.[1]) (In Fig. 1 ff sind die Punkte E_1, E_2, E_3 und die Kegelschnitte r und k immer als reell dargestellt.)

2. Notwendige Eigenschaft der Berührungssehne. Alle Kegelschnitte, welche den Kugelkreis k in den unbekannten Punkten B, B' berühren, bilden einen Kegelschnittbüschel. Diesem gehört, neben k selbst, der gesuchte Kegelschnitt r, sowie die als Doppellinie gedachte Berührungssehne BB' an.

Jede Gerade schneidet den Kegelschnittbüschel in einer Punktinvolution (II § 48, 8), deren einer Doppelpunkt der Schnittpunkt der Geraden mit der Doppellinie BB' ist. Nun ist

[1]) Cremona, a. S. 2[1]) a. O.

auf der Seite $s_3 = E_1E_2$ des Dreiecks $E_1E_2E_3$ (Fig. 2) die Punktinvolution vollständig bestimmt, da zwei ihrer Punktepaare (II § 8, 7), nämlich die Schnittpunkte E_1, E_2 mit r und die Schnittpunkte S_3, S_3' mit k, bekannt sind. Einer der beiden, dann ebenfalls bekannten Doppelpunkte D_3, D_3' der Involution, etwa D_3, muss also auf BB' liegen. Dasselbe muss für die Seiten $s_2 = E_3E_1$ und $s_1 = E_2E_3$ gelten, die k in S_2, S_2' und S_1, S_1' schneiden und deren Involutionen die Doppelpunkte D_2, D_2' und D_1, D_1' haben mögen.

Auf der Berührungssehne BB' muss also von jeder der drei Involutionen, die auf den Seiten s_1, s_2, s_3 durch die Punktepaare E_2E_3, S_1S_1'; E_3E_1, S_2S_2'; E_1E_2, S_3S_3' (Fig. 2) bestimmt sind, je ein Doppelpunkt D_1, D_2, D_3 liegen.

3. Lagebeziehung der sechs Doppelpunkte. Nach Bestimmung der sechs Doppelpunkte D_1, D_1' auf s_1; D_2, D_2' auf s_2 und D_3, D_3' auf s_3 betrachten wir zunächst die vier letzteren und verbinden je zwei ungleichnamige (mit verschiedenen unteren Indizes behaftete) miteinander. Die Verbindungslinien D_2D_3, $D_2'D_3'$, D_2D_3', $D_2'D_3$ bilden ein vollständiges Vierseit (Fig. 3).

Dieses hat, ausser den vier Ecken D_2, D_3, D_2', D_3', noch zwei weitere Ecken $D_4 = D_2D_3 \times D_2'D_3'$ und $D_4' = D_2D_3' \times D_2'D_3$ und, ausser den zwei Nebenseiten $s_3 = D_3D_3'$ und $s_2 = D_2D_2'$ noch eine dritte $s_4 = D_4D_4'$, welche s_3 und s_2 in E_4 und E_4' schneiden mögen (Fig. 3).

Auf der Nebenseite s_3 sind die auf ihr liegenden Ecken D_3, D_3' und die Schnittpunkte E_1, E_4 mit den beiden anderen Nebenseiten harmonisch (I § 27, 7, III'). Da aber D_3, D_3' nach ihrer Entstehung unter 2 als Doppelpunkte der Involution auf s_3 auch zu E_1, E_2 harmonisch sind, muss $E_4 = E_2$ sein. Auf s_2 muss ebenso $E_4' = E_3$ sein. Dann fällt aber auch $s_4 = E_4E_4'$ mit $s_1 = E_2E_3$ zusammen (Fig. 4).

I. Die Seiten s_1, s_2, s_3 sind daher die Nebenseiten des vollständigen Vierseits. Auf der Nebenseite s_1 (Fig. 4) sind nun die auf ihr liegenden Ecken D_4, D_4' zu den Schnittpunkten E_2, E_3 mit den beiden andern Nebenseiten harmonisch.

In dem vollständigen Vierseit (Fig. 4) sind ferner die Gegenecken D_2, D_2' sowohl, wie D_3, D_3' nach ihrer Entstehung unter 2 harmonische Pole des Kugelkreises k; dasselbe gilt daher (dual zu II § 48, 7, IV) von den dritten Gegenecken D_4, D_4'.

Da somit D_4, D_4' sowohl zu E_2, E_3, als zu S_1, S_1' harmonisch sind, so sind D_1, D_1' nach ihrer Entstehung unter **2** mit D_4, D_4' identisch (Fig. 5).

II. Die Doppelpunkte D_1, D_1'; D_2, D_2'; D_3, D_3' der Involutionen, welche auf den drei Seiten s_1, s_2, s_3 des Dreiecks E_1, E_2, E_3 durch die jedesmaligen Ecken E_2E_3, E_3E_1, E_1E_2 und die jedesmaligen Schnittpunkte S_1, S_1'; S_2, S_2'; S_3, S_3' mit dem Kugelkreis k bestimmt werden, bilden die sechs Ecken eines vollständigen Vierseits, dessen drei Nebenseiten die Seiten s_1, s_2, s_3 sind (Fig. 5).

Die vier Seiten des vollständigen Vierseits sind die einzig möglichen Verbindungslinien je zweier ungleichnamiger der sechs Doppelpunkte D_1, D_1'; D_2, D_2'; D_3, D_3' und enthalten je drei ungleichnamige von diesen (Fig. 5).

Sie sind daher nach **2** auch die einzig möglichen Berührungssehnen BB'[1]).

4. Hinreichende Eigenschaft einer Berührungssehne. Greift man andererseits irgendeine Seite D_2D_3 des vollständigen Vierseits heraus (Fig. 2), so ist durch den Kugelkreis k und die Gerade D_2D_3, als Doppellinie genommen, der Büschel der Kegelschnitte bestimmt, die k in den Schnittpunkten B, B' mit der Doppellinie berühren. Durch jeden Punkt der unendlich fernen Ebene, etwa E_1, ist ein solcher Kegelschnitt r bestimmt.

Die Seite s_3 schneidet den Büschel in einer Involution, die durch das Punktepaar S_3, S_3' und den Doppelpunkt D_3 (Fig. 2) bestimmt, also dieselbe ist, welche unter **2** durch S_3, S_3' und E_1, E_2 bestimmt war. Daher muss der zweite Schnittpunkt von r mit s_3 der zu E_1 gehörige Punkt E_2 der Involution sein und muss r durch E_2, ebenso aber auch durch E_3 gehen.

Zu jeder der vier Seiten des vollständigen Vierseits (Fig. 5) gehört auch wirklich ein durch die drei Punkte E_1, E_2, E_3 gehender Kegelschnitt r, der den Kugelkreis k in seinen zwei Schnittpunkten mit der Seite berührt.

5. Die vier Rotationsflächen. Die unendlich ferne Kurve r vertritt als Kegelschnitt fünf gegebene Punkte. Die Fläche 2. Ordnung, welche durch r und noch vier endliche Punkte der Raumkurve 3. Ordnung bestimmt ist, enthält sieben Punkte der Raumkurve und daher die ganze Raumkurve. Jede der vier

[1]) Cremona, a. S. 2[1]) a. O.

Seiten des vollständigen Vierecks (Fig. 5) ist daher Berührungssehne einer durch die Raumkurve gehenden Rotationsfläche.

Es gibt im allgemeinen vier Rotationsflächen 2. Ordnung, die durch eine kubische Hyperbel oder Ellipse hindurchgehen; ihre Berührungssehnen sind die Seiten des vollständigen Vierseits (Fig. 5).

6. Zusammenfall zweier der drei Punkte E_1, E_2, E_3. Fallen (§ 1, (4), III) die beiden Punkte E_2 und E_3 zusammen, so wird s_1 die Tangente der Raumkurve im doppelt zählenden unendlich fernen Punkte $E_2 = E_3$. Auf dieser ist dann (Fig. 6) D_1 als harmonischer Pol von $D_1' = E_2 = E_3$ in bezug auf den Kugelkreis bestimmt. Dagegen bestimmen sich $D_2 = D_3$ und $D_2' = D_3'$, wie unter **3**, als Doppelpunkte der Involution der Punktepaare E_1, $E_2 = E_3$ und $S_2 = S_3$, $S_2' = S_3'$ (Fig. 2).

Von den vier Seiten des vollständigen Vierseits fallen dann $D_2 D_3'$ und $D_2' D_3$ in $s_2 = s_3$ hinein, während die beiden andern D_1 mit $D_2 = D_3$ und $D_2' = D_3'$ verbinden (Fig. 6).

Bei der kubischen hyperbolischen Parabel gibt es also eine doppelt zählende Berührungssehne und zwei einfache.

Die Rotationsfläche, welche der doppelt zählenden Berührungssehne entspricht, ist der parabolische Zylinder der Raumkurve, dessen unendlich ferne Kurve gerade die doppelt gelegte Verbindungslinie der Punkte E_1 und $E_2 = E_3$ ist.

Fallen alle drei Punkte E_1, E_2, E_3 zusammen, wird der Grenzübergang unsicher (vergl. dafür § 5, **7**).

§ 3. Analytische Bestimmung der Berührungssehnen.

1. Das Dreieck der unendlich fernen Punkte. Bei der kubischen Hyperbel, von der wir zunächst ausgehen, haben die drei unendlich fernen Punkte nach § 1, (6); (4), II die Koordinaten:

$$(1)\quad E_1 : x = 1,\ y = 0,\ z = 0;\quad E_2 : x_0 = ae^3 + a'e^2 + a''e,\quad y_0 = be^2 + b'e,\ z_0 = ce;$$
$$E_3 : x_0' = -ae^3 + a'e^2 - a''e,\quad y_0' = be^2 - b'e,\ z_0' = -ce,$$

wo, wie überall im folgenden als vierte homogene Koordinate $t = 0$ hinzuzudenken ist.

Da hiernach:

$$(2)\quad y_0 z_0' - z_0 y_0' = -2bce^3,\ z_0 x_0' - x_0 z_0' = 2a'ce^3,\ x_0 y_0' - y_0 x_0' = 2Ae^3,$$

mit der Abkürzung:

$$(3)\quad A = abe^2 - a'b' + a''b,$$

so sind die Gleichungen der drei Seiten des Dreiecks $E_1 E_2 E_3$:

$$(4)\quad s_1 : c(bx - a'y) - Az = 0;\ s_2 : z_0' y - y_0' z = 0;\ s_3 : z_0 y - y_0 z = 0.$$

2. Die Involutionen auf den Dreiecksseiten. Die Seite s_3 schneidet den imaginären Kugelkreis:

$$(5)\quad x^2 + y^2 + z^2 = 0$$

in den Punkten (Fig. 2):

$$(6)\quad S_3 : x_1 = iw_0,\ y_1 = y_0,\ z_1 = z_0;\ S_3' : x_2 = -iw_0,\ y_2 = y_0,\ z_2 = z_0,$$

wo mit positivem Vorzeichen der Wurzel:

$$(7)\quad w_0 = \sqrt{y_0^2 + z_0^2}.$$

Sind X, Y, Z (Fig. 7) die unendlich fernen Punkte der Achsen des rechtwinkligen Koordinatensystems Oxyz, also die Ecken des Koordinatendreiecks in der unendlich fernen Ebene, so kann die Seite s_3 in (4) niemals in die Seite XY des Koordinatendreiecks fallen, da $z_0 = ce \lesseqgtr 0$ nach § 1, (2). Man kann daher x, z als homogene Koordinaten der Punkte von s_3 nehmen (I § 28, **16**, 2. Abs. l.); es sind zugleich die homogenen Koordinaten der Strahlen, welche die Punkte von s_3 mit Y verbinden (Fig. 7).

Dann ist die Gleichung der durch die Punktepaare S_3, S_3' und E_1, E_2 bestimmten Involution (II § 8, **7**), wenn x, z und x', z' irgend zwei entsprechende Punkte bezeichnen:

$$\begin{vmatrix} xx' & xz' + zx' & zz' \\ x_1 x_2 & x_1 z_2 + z_1 x_2 & z_1 z_2 \\ 1.x_0 & 1.z_0 + 0.x_0 & 0.z_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} xx' & xz' + zx' & zz' \\ w_0^2 & 0 & z_0^2 \\ x_0 & z_0 & 0 \end{vmatrix} = 0$$

oder entwickelt:

$$(8)\quad z_0^2 xx' - x_0 z_0 (xz' + zx') - w_0^2 zz' = 0.$$

Für die Doppelpunkte D_3, D_3' dieser Involution bestimmt die quadratische Gleichung:

$$(9)\quad z_0^2 x^2 - 2x_0 z_0 xz - w_0^2 z^2 = 0$$

das Verhältnis x : z. Ihre drei Koordinaten x, y, z werden daher,

da für alle Punkte der Seite s_3 stets $y : z = y_0 : z_0$ ist:

$$(10)\quad D_3 : x_0 + w,\ y_0,\ z_0;\quad D_3' : x_0 - w,\ y_0,\ z_0,$$

wo neben (7) die Abkürzung gilt:

$$(11)\quad w = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}.$$

In gleicher Weise schneidet die Seite s_2 den Kugelkreis in den Punkten:

$$(6')\quad S_2 : x_1' = iw_0',\ y_1' = y_0',\ z_1' = z_0';\quad S_2' : x_2' = -iw_0',\ y_2' = y_0',\ z_2' = z_0',$$

wo:

$$(7')\quad w_0' = \sqrt{y_0'^2 + z_0'^2},$$

und werden die Doppelpunkte der durch die Punktepaare S_2, S_2' und E_1, E_3 bestimmten Involution:

$$(10')\quad D_2 : x_0' + w',\ y_0',\ z_0';\quad D_2' = x_0' - w',\ y_0',\ z_0',$$

wo:

$$(11')\quad w' = \sqrt{x_0'^2 + y_0'^2 + z_0'^2}.$$

Durch die Angaben (10) und (10') sind die Doppelpunkte D_3, D_3' und D_2, D_2' der Involutionen auf den Seiten s_3 und s_2 bestimmt.

3. Die vier Berührungssehnen. Diese vier Doppelpunkte bestimmen nach § 2, **3** die vier Berührungssehnen D_2D_3, $D_2'D_3$, D_2D_3', $D_2'D_3'$ (Fig. 5).

Die Verbindungslinie der Punkte D_2 und D_3 hat die Gleichung:

$$(y_0 z_0' - z_0 y_0')\,x + \{z_0(x_0' + w') - (x_0 + w)z_0'\}y + \{(x_0 + w)y_0' - y_0(x_0' + w')\}z = 0$$

oder nach (2) und (1):

$$(12)\quad D_2D_3 : -2bce^2x + c(2a'e^2 + w + w')y + \{2Ae^2 + be(w - w') - b'(w + w')\}z = 0.$$

Beim Uebergang von D_2D_3 zu $D_2'D_3$ ändert sich nach (10') nur das Vorzeichen von w', so dass die Gleichung von $D_2'D_3$ wird:

$$(12)\quad D_2'D_3 : -2bce^2x + c(2a'e^2 + w - w')y + \{2Ae^2 + be(w + w') - b'(w - w')\}z = 0,$$

und weiter:

$$(12)\quad \begin{cases} D_2D_3' : -2bce^2x + c(2a'e^2 - w + w')y + \{2Ae^2 + be(-w - w') - b'(-w + w')\}z = 0, \\ D_2'D_3' : -2bce^2x + c(2a'e^2 - w - w')y + \{2Ae^2 + be(-w + w') - b'(-w - w')\}z = 0. \end{cases}$$

Die Gleichungen (12) stellen die Berührungssehnen der vier durch die kubische Hyperbel oder, mit $-e^2$ für e^2, die kubische Ellipse gehenden Rotationsflächen dar.

Durch Addition der ersten und vierten oder der zweiten und dritten Gleichung (12) folgt jedesmal die Gleichung (4), woraus in Uebereinstimmung mit § 2, **3**, I folgt:

Die Schnittpunkte $D_1 = D_2 D_3 \times D_2' D_3'$ und $D_1' = D_2' D_3 \times D_2 D_3'$ liegen auf s_1 (Fig. 5).

4. Die vier reellen Berührungssehnen bei der kubischen Hyperbel. Bei der kubischen Hyperbel, wo die Punkte E_1, E_2, E_3 in (1) alle drei reell sind, werden auch die Doppelpunkte D_3, D_3', D_2, D_2' in (10), (10') und damit die Verbindungslinien (12) alle vier reell. In der Tat sind die absolut gedachten Quadratwurzeln w und w' in (11) und (11') stets reell und überdies von 0 verschieden.

Indem die Gleichungen (12) noch mit $2e^2$ dividiert und in eine zusammengefasst werden, ergibt sich mit Rücksicht auf (3):

Bei der kubischen Hyperbel § 1, (6); (3), II gibt es stets vier reelle Berührungssehnen, deren Gleichungen aus der gemeinsamen Form:

$$(13)\quad -bcx + c(a' + u)y + \{(ae^2 + a'' + v)b - (a' + u)b'\}z = o$$

hervorgehen, indem für u, v der Reihe nach die Wertepaare:

$$(14)\quad u, v = \frac{w + w'}{2e^2},\ \frac{w - w'}{2e};\ \frac{w - w'}{2e^2},\ \frac{w + w'}{2e};\ \frac{-w + w'}{2e^2},$$
$$\frac{-w - w'}{2e};\ \frac{-w - w'}{2e^2},\ \frac{-w + w'}{2e}$$

bei absoluten Werten der Quadratwurzeln (11), (11') gesetzt werden.

Da nach (11), (11') und (1):

$$(15)\quad \begin{cases} w^2 = \{(ae^2 + a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 + b'^2 + c^2 \\ \qquad + 2([ae^2 + a'']a' + bb')e\}e^2, \\ w'^2 = \{(ae^2 + a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 + b'^2 + c^2 \\ \qquad - 2([ae^2 + a'']a' + bb')e\}e^2, \end{cases}$$

so ist:

$$(16)\quad \begin{cases} w^2 + w'^2 = 2\{(ae^2 + a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 + b'^2 + c^2\}e^2, \\ w^2 - w'^2 = 4\{(ae^2 + a'')a' + bb'\}e^3, \end{cases}$$

und daher für alle vier Wertepaare (14):

$$(17)\quad e^2u^2 + v^2 = (ae^2 + a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 + (b'^2 + c^2),$$

$$(18)\quad uv = (ae^2 + a'')a' + bb'.$$

In dem besonderen Falle:

$$(19)\quad (ae^2 + a'')a' + bb' = o$$

wird u oder v, also, da w und w' positiv sind, in (14) $w - w' = o$.

5. Die zwei reellen Berührungssehnen bei der kubischen Ellipse. Setzt man nun, um zur kubischen Ellipse § 1, (3), I überzugehen, überall ei für e, so werden die Punkte E_2 und E_3 in (1) imaginär, ebenso die Seiten s_2 und s_3 in (4) und die Doppelpunkte (10) und (10') der Involutionen, sowie die Wurzeln w und w' in (11) und (11'), die in die vier Gleichungen (12) eingehen. Für die Quadrate dieser Wurzeln ist nach (15):

$$(20)\quad \begin{cases} w^2 = \{-(ae^2 - a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 - (b'^2 + c^2) \\ \qquad + 2([ae^2 - a'']a' - bb')ei\}e^2, \\ w'^2 = \{-(ae^2 - a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 - (b'^2 + c^2) \\ \qquad - 2([ae^2 - a'']a' - bb')ei\}e^2, \end{cases}$$

und damit:

$$(21)\quad \begin{cases} w^2 + w'^2 = 2\{-(ae^2 - a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 - (b'^2 + c^2)\}e^2, \\ w^2 - w'^2 = 4\{(ae^2 - a'')a' - bb'\}e^3i. \end{cases}$$

Die Gleichung (13) der vier Berührungssehnen wird jetzt:

$$(22)\quad -bcx + c(a' + u)y + \{(-ae^2 + a'' + v)b - (a' + u)b'\}z = o,$$

wo für u, v nach (14) die Werte gelten:

$$(23)\quad u, v = \frac{-w - w'}{2e^2}, \frac{w - w'}{2ei}; \frac{-w + w'}{2e^2}, \frac{w + w'}{2ei}; \frac{w - w'}{2e^2}, \frac{-w - w'}{2ei}; \frac{w + w'}{2e^2}, \frac{-w + w'}{2ei}.$$

Nach (20) ist nun jetzt, wenn:

$$(24)\quad \alpha = -(ae^2 - a'')^2 + (a'^2 + b^2)e^2 - (b'^2 + c^2),$$

$$\beta = 2([ae^2 - a'']a' - bb')e$$

gesetzt wird:

$$(25)\quad w = e\sqrt{\alpha + \beta i},\quad w' = e\sqrt{\alpha - \beta i}.$$

Diejenigen Werte von w und w', deren reeller Teil positiv ist, sind dann, e positiv genommen:

$$(26)\quad w = e(A + Bi),\quad w' = e(A - Bi)$$

mit [1]):

$$(27)\quad A = \sqrt{\frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2}},\quad B = \varepsilon\sqrt{\frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{2}},$$

[1]) C. F. Gauss, Werke 2, S. 104.

wo die doppelt gestrichenen Wurzeln absolut gelten, das Vorzeichen ε von B aber bestimmt wird aus der zweiten der beiden Gleichungen:

$$(28)\quad A^2 - B^2 = \alpha,\quad 2AB = \beta$$

(ε = sign. β), die durch Quadrieren aus (25) und (26) folgen. Mit (26) werden nun die Wertepaare (23):

$$(29)\quad u, v = -\frac{A}{e}, B;\ -\frac{Bi}{e}, \frac{A}{i};\ \frac{Bi}{e}, -\frac{A}{i};\ \frac{A}{e}, -B.$$

Von diesen geben aber nur das erste und vierte reelle Koeffizienten der Gleichung (22). Es folgt also:

Bei der kubischen Ellipse § 1, (6); (3), I gibt es stets zwei reelle Berührungssehnen, deren Gleichungen aus der gemeinsamen Form:

$$(30)\quad -bcx + c(a' + u)y + \{(-ae^2 + a'' + v)b - (a' + u)b'\}z = 0$$

hervorgehen, indem für u, v die Wertepaare:

$$(31)\quad u, v = -\frac{A}{e}, B;\ \frac{A}{e}, -B$$

gesetzt werden und A, B durch (27), (28) und (24) bestimmt sind.

Für beide Wertepaare (31) ist nach (28):

$$(32)\quad -e^2u^2 + v^2 = -A^2 + B^2 = -\alpha = (ae^2 - a'')^2 - (a'^2 + b^2)e^2 + (b'^2 + c^2),$$

$$(33)\quad uv = -\frac{AB}{2e} = -\frac{\beta}{2e} = -(ae^2 - a'')a' + bb',$$

wie in (17) und (18), nur mit $-e^2$ für e^2.

6. Die drei reellen Berührungssehnen bei der kubischen hyperbolischen Parabel. Die beiden unendlich fernen Punkte der kubischen hyperbolischen Parabel § 1, (6); (3), III sind der doppelt zählende $X = E_2 = E_3 = 1, 0, 0$ und der einfach zählende:

$$(34)\quad E_1 : x_0 = ae^3 + a'e^2 + a''e,\ y_0 = be^2 + b'e,\ z_0 = ce.$$

Die Gleichung der Seiten $s_2 = s_3$ wird wie in (3):

$$(35)\quad s_2 = s_3 :\ z_0 y - y_0 z = 0,$$

während die Tangente s_1 (§ 2, **6**) im doppelt zählenden Punkte $\lambda = \infty$ der Raumkurve die Gleichung hat:

$$(36)\quad s_1 :\ z = 0.$$

Die Doppelpunkte der Involution, die auf der Seite $s_2 = s_3$ durch ihre Schnittpunkte mit dem Kugelkreis (5) und die Punkte E_1, $E_2 = E_3$ bestimmt ist, sind wie in (10):

(37) $D_2 = D_3 : x_0 + w,\ y_0,\ z_0;\ D_2' = D_3' : x_0 - w,\ y_0,\ z_0,$

wo w den Wert (11) hat. Wir setzen dafür:

(38) $w = eu,\ u = \sqrt{(ae^2 + a'e + a'')^2 + (be + b')^2 + c^2}.$

Es sind ferner auf der Tangente s_1 die Punkte X und Y, als unendlich ferne Punkte rechtwinkliger Achsen, harmonische Pole in bezug auf den Kugelkreis, also nach § 2, **6** (Fig. 6) neben $D_1' = E_2 = E_3 = X$:

(39) $D_1 = Y.$

Die beiden Berührungssehnen D_1D_2 und D_1D_2' (Fig. 6) haben daher die Gleichungen:

(40) $z_0 x - (x_0 + w)z = 0,\ z_0 x - (x_0 - w)z = 0,$

die doppelt zählende Berührungssehne $D_2D_3' = D_2'D_3 = s_2 = s_3$, nach § 2, **6**, die Gleichung (35).

Bei der kubischen hyperbolischen Parabel § 1, (6); (3), III gibt es stets drei reelle Berührungssehnen, deren Gleichungen lauten:

(41) $cx - (ae^2 + a'e + a'' \pm u)z = 0,$

(42) $cy - (be + b')z = 0,$

wo u den Wert (38) hat.

§ 4. Die unendlich fernen Kurven der Rotationsflächen.

1. Die vier unendlich fernen Kurven bei der kubischen Hyperbel. Die unendlich ferne Kurve einer durch die Raumkurve gehenden Rotationsfläche gehört dem Kegelschnittbüschel an, der durch den Kugelkreis und die doppelt gelegte Berührungssehne bestimmt ist und daher im Falle der kubischen Hyperbel nach (13) mit einem Parameter μ die Gleichung hat:

(1) $\{-bcx + c(a' + u)y + ([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b')z\}^2 - \mu(x^2 + y^2 + z^2) = 0.$

Soll diese Kurve (§ 2, **4**) durch den Punkt $E_1 = 1, 0, 0$ in § 3, (1) hindurchgehen, so muss $\mu = b^2c^2$ sein. Sie geht dann nach § 2, auch durch E_2 und E_3. In der Tat gibt die Substition der

Koordinaten x_0, y_0, z_0 oder x_0', y_0', z_0' aus § 3, (1), (11) in die Gleichung (1):

$$(2)\quad b^2c^2e^2(eu+v)^2-\mu w^2=0,\quad b^2c^2e^2(eu-v)^2-\mu w'^2=0$$

und ist nach § 3, (14):

$$(3)\quad e(eu+v)=\pm w,\quad e(eu-v)=\pm w',$$

so dass die Gleichungen (2) mit dem angegebenen Werte von μ erfüllt sind.

Die vier Kegelschnitte, die durch die drei unendlich fernen Punkte der kubischen Hyperbel gehen und mit dem Kugelkreis eine doppelte Berührung mit reeller Berührungssehne besitzen, haben die Gleichung:

$$(4)\quad \{-bcx+c(a'+u)y+([ae^2+a''+v]b-[a'+u]b')z\}^2 - b^2c^2(x^2+y^2+z^2)=0,$$

mit den Wertepaaren § 3, (14) von u, v.

2. Die beiden unendlich fernen Kurven bei der kubischen Ellipse. In gleicher Weise ergibt sich im Anschluss an § 3, (30):

Die beiden Kegelschnitte, die durch die drei unendlich fernen Punkte der kubischen Ellipse gehen und mit dem Kugelkreis eine doppelte Berührung mit reeller Berührungssehne besitzen, haben die Gleichung:

$$(5)\quad \{-bcx+c(a'+u)y+([-ae^2+a''+v]b-[a'+u]b')z\}^2 - b^2c^2(x^2+y^2+z^2)=0;$$

mit den Wertepaaren § 3, (31) von u, v.

Die Kurve (5) geht ersichtlich durch den Punkt $E_1=1,0,0$ in § 3, (1), aber auch durch die imaginären Punkte $E_2=x_0, y_0, z_0$ und $E_3=x_0', y_0', z_0'$, die aus § 3, (1) mit ei für e entstehen. Denn für sie wird aus (5):

$$(6)\quad b^2c^2e^2(-eu+vi)^2-b^2c^2w^2=0,\quad b^2c^2e^2(-eu-vi)^2 - b^2c^2w'^2=0.$$

Es ist aber auch nach (31) und (26):

$$(7)\quad e(-eu+vi)=\pm e(A+iB)=\pm w,\quad e(-eu-vi) = \pm e(A-iB)=\pm w'.$$

3. Die drei unendlich fernen Kurven bei der kubischen hyperbolischen Parabel. Endlich ergibt sich im Anschluss an § 3, (41), (42):

Die drei Kegelschnitte, die durch die drei unendlich fernen Punkte der kubischen hyperbolischen Parabel (§ 1, (4), III) gehen und mit dem Kugelkreis eine doppelte Berührung mit reeller Berührungssehne besitzen, haben die Gleichungen:

$$(8)\quad \{cx - (ae^2 + a'e + a'' \pm u)z\}^2 - c^2(x^2 + y^2 + z^2) = 0,$$

$$(9)\quad \{cy - (be + b')z\}^2 = 0,$$

mit dem Werte § 3, (38) von u.

Die Kurve (9) ist die doppelt gelegte Berührungssehne § 3, (42) selbst. Beide Kurven (8) und (9) gehen ersichtlich durch die Punkte E_1, $E_2 = E_3$ in § 3, (34), das letztere mit Rücksicht auf § 3, (38).

§ 5. Die Gleichungen der Rotationsflächen durch die kubischen Kegelschnitte.

1. Bestimmung der Bündelparameter bei der kubischen Hyperbel. Die Fläche 2. Ordnung:

$$(1)\quad a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{23}yz + 2a_{31}zx + 2a_{12}xy + 2a_{14}xt + 2a_{24}yt + 2a_{34}zt + a_{44}t^2 = 0$$

geht nach § 1, (15) immer dann und nur dann durch die kubische Hyperbel § 1, (6); (3), II, wenn die Koeffizienten die Werte haben:

$$(2)\quad \begin{aligned} a_{11} &= 0,\\ a_{22} &= c^2(a\rho + a'\sigma - ae^2\tau),\\ a_{33} &= -a(b^2e^2 - b'^2)\rho - ([ae^2 + a'']b - a'b')b'\sigma\\ &\qquad - (ab'^2 - a'bb' + a''b^2)e^2\tau,\\ 2a_{23} &= c\{-2ab'\rho + ([ae^2 + a'']b - 2a'b')\sigma - (a'b - 2ab')e^2\tau\},\\ 2a_{31} &= bc(b'\sigma + be^2\tau),\\ 2a_{12} &= -bc^2\sigma,\\ 2a_{14} &= b^2c^2\sigma,\\ 2a_{24} &= bc^2(a\rho + a'\sigma),\\ 2a_{34} &= bc(ab'\rho + [a'b' - a''b]\sigma),\\ a_{44} &= 0. \end{aligned}$$

Die sechs ersten Koeffizienten (2) sind die der unendlich fernen Kurve der Fläche (1):

$$(3)\quad a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{23}yz + 2a_{31}zx + 2a_{12}xy = 0,\ t = 0.$$

Ist diese die unendlich ferne Kurve einer Rotationsfläche, die durch die kubische Hyperbel geht, so haben die Koeffizienten nach § 4, (4) die Werte:

$$(4)\quad \begin{aligned} a_{11} &= 0,\\ a_{22} &= c^2([a' + u]^2 - b^2),\\ a_{33} &= ([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b')^2 - b^2c^2,\\ 2a_{23} &= 2c(a' + u)([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b'),\\ 2a_{31} &= -2bc([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b'),\\ 2a_{12} &= -2bc^2(a' + u). \end{aligned}$$

Diese Werte (4) müssen daher bei geeigneter Wahl von ρ, σ, τ aus den ersten sechs Werten (2) entstehen. Danach ergeben sich durch Gleichsetzen der Werte a_{22}, $2a_{31}$, $2a_{12}$ in (2) und (4) für ρ, σ, τ die Bedingungen:

$$(5)\quad \begin{cases} a\rho + a'\sigma - ae^2\tau = (a' + u)^2 - b^2, \quad b'\sigma + be^2\tau \\ = -2([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b'), \quad \sigma = 2(a' + u). \end{cases}$$

Danach wird:

$$(6)\quad a\rho = u^2 - a'^2 - b^2 - 2a(ae^2 + a'' + v), \quad \sigma = 2(a' + u), \quad e^2\tau = -2(ae^2 + a'' + v)$$

und ferner:

$$(7)\quad a\rho + a'\sigma = (a' + u)^2 - b^2 + ae^2\tau = (a' + u)^2 - b^2 - 2a(ae^2 + a'' + v).$$

Durch (6) sind die Parameter ρ, σ, τ der Fläche (1), (2) des Bündels bestimmt. Damit müssen dann die Koeffizienten a_{33} und $2a_{23}$ in (2) von selbst die Werte in (4) annehmen, was sich auch vermittels der Beziehungen § 3, (17); (18) bestätigen lässt.

Die übrigen Koeffizienten (2) werden dann:

$$(8)\quad \begin{cases} 2a_{14} = 2b^2c^2(a' + u),\\ 2a_{24} = -bc^2\{(a' + u)^2 - b^2 - 2a(ae^2 + a'' + v)\},\\ 2a_{34} = bc\{(a' + u)^2b' - b^2b' - 2a(ae^2 + a'' + v)b' \\ \qquad\qquad - 2a''b(a' + u)\}. \end{cases}$$

2. Die vier Rotationsflächen der kubischen Hyperbel. Danach ergibt sich der allgemeine Satz:

Die Gleichung der vier durch die kubische Hyperbel:

$$(9)\quad x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda, \quad y = b\lambda^2 + b'\lambda, \quad z = c\lambda, \quad t = \lambda^2 - e^2$$

gehenden Rotationsflächen lautet:

$$(10)\quad \{-bcx + c(a' + u)y + ([ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b')z\}^2 - b^2c^2(x^2 + y^2 + z^2) + 2b^2c^2(a' + u)xt$$

$$- bc^2([a' + u]^2 - b^2 - 2a[ae^2 + a'' + v])yt + bc([a' + u]^2 b' - b^2 b' - 2a[ae^2 + a'' + v]b' - 2a''b[a' + u])zt = o,$$

mit den vier Wertepaaren § 3, (14) von u, v.

3. Die zwei Rotationsflächen der kubischen Ellipse. In derselben Weise ergibt sich:

Die Gleichung der zwei durch die kubische Ellipse:

(11) $x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda,\ y = b\lambda^2 + b'\lambda,\ z = c\lambda,\ t = \lambda^2 + e^2$

gehenden Rotationsflächen lautet:

$$(12)\quad \{-bcx + c(a' + u)y + ([-ae^2 + a'' + v]b - [a' + u]b')z\}^2 - b^2c^2(x^2 + y^2 + z^2) + 2b^2c^2(a' + u)xt - bc^2([a' + u]^2 - b^2 - 2a[-ae^2 + a'' + v])yt + bc([a' + u]^2 b' - b^2 b' - 2a[-ae^2 + a'' + v]b' - 2a''b[a' + u])zt = o,$$

mit den zwei Wertepaaren § 3, (31) von u, v.

4. Die Bündelparameter bei der kubischen hyperbolischen Parabel. Mit den Werten § 1, (3), III werden die Koeffizienten § 1, (15):

$$(13)\quad a_{11} = o,\ a_{22} = -ac^2e\tau,\ a_{33} = -ab(be + b')\rho - b(ab'e + a'b' - a''b)\sigma - e(ab'^2 - a'bb' + a''b^2)\tau,$$
$$2a_{23} = c\{ab\rho + b(ae + a')\sigma - (a'b - 2ab')e\tau\},$$
$$2a_{31} = -b^2c(\sigma - e\tau),\ 2a_{12} = o,$$
$$2a_{14} = b^2c^2\sigma,\ 2a_{24} = -bc^2(a\rho + a'\sigma),$$
$$2a_{34} = bc(ab'\rho + [a'b' - a''b]\sigma),\ a_{44} = o.$$

Dagegen werden die Koeffizienten von § 4, (8), noch mit ae multipliziert:

$$(14)\quad a_{11} = o,\ a_{22} = -ac^2e,\ a_{33} = ae(ae^2 + a'e + a'' \pm u)^2 - aec^2,$$
$$2a_{23} = o,\ 2a_{31} = -2aec(ae^2 + a'e + a'' \pm u),\ 2a_{12} = o;$$

die von § 4, (9), ebenso mit $-ae$ multipliziert:

$$(15)\quad a_{11} = o,\ a_{22} = -aec^2,\ a_{33} = -ae(be + b')^2,$$
$$2a_{23} = 2aec(be + b'),\ 2a_{31} = o,\ 2a_{12} = o.$$

Daher ergibt sich für die Parameter ρ, σ, τ in (13) entweder:

$$(16)\quad \tau = 1,\ ab\rho + b(ae + a')\sigma - (a'b - 2ab')e = o,$$
$$b^2(\sigma - e) = 2ae(ae^2 + a'e + a'' \pm u);$$

oder:

$$(17)\quad \tau = 1,\ ab\rho + b(ae + a')\sigma - (a'b - 2ab')e = 2ae(be + b'),$$
$$\sigma - e = o.$$

Aus (16) folgt:

$$(18)\quad b^2\rho = -2e(ae + a')(ae^2 + a'e + a'' \pm u) - be(be + 2b'),$$
$$b^2\sigma = 2ae(ae^2 + a'e + a'' \pm u) + b^2e,\ \tau = 1$$

und aus (17):

$$(19)\quad \rho = e^2,\ \sigma = e,\ \tau = 1.$$

5. Die drei Rotationsflächen der kubischen hyperbolischen Parabel. Bildet man alsdann mit den Werten (17) und (19) die Koeffizienten a_{14}, a_{24}, a_{34} in (13), so ergibt sich mit Rücksicht auf § 4, (8); (9):

Die Gleichungen der drei durch die kubische hyperbolische Parabel:

$$(20)\quad x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda,\ y = b\lambda^2 + b'\lambda,\ z = c\lambda,\ t = \lambda - e$$

gehenden Rotationsflächen lauten:

$$(21)\quad ab(cx - [ae^2 + a'e + a'' + \varepsilon u]z)^2 - abc^2(x^2 + y^2 + z^2)$$
$$+ bc^2(2a[ae^2 + a'e + a'' + \varepsilon u] + b^2)xt$$
$$+ ([abe + 2ab' - a'b]b + 2a^2e[ae^2 + a'e + a'' + \varepsilon u])c^2yt$$
$$+ ([a'b' - a''b]b^2 - ab^2b'e - 2abb'^2 - 2a[ae^2 + a'e + a''$$
$$+ \varepsilon u][ab'e + a''b])czt = o,\ \varepsilon = \pm 1,$$

mit dem Werte § 3, (38) von u, und:

$$(22)\quad a(cy - [be + b']z)^2 - b^2c^2xt + bc^2(ae + a')yt$$
$$- bc(ab'e + a'b' - a''b)zt = o.$$

Die dritte Rotationsfläche (22) ist der parabolische Zylinder (§ 1, 7), der durch die Kurve geht.

6. Die zwei Rotationsflächen der kubischen Parabel. Die Koeffizienten einer jeden durch die kubische Parabel § 1, (6); (3), IV gehenden Fläche 2. Ordnung sind nach § 1, (15):

$$(23)\quad a_{11} = o,\ a_{22} = ac^2\tau,\ a_{33} = ab^2\rho + abb'\sigma + (ab'^2 - a'bb'$$
$$+ a''b^2)\tau,$$
$$2a_{23} = -c(ab\sigma - [a'b - 2ab']\tau),\ 2a_{31} = -b^2c\tau,\ 2a_{12} = o,$$
$$2a_{14} = b^2c^2\sigma,\ 2a_{24} = -bc^2(a\rho + a'\sigma),$$
$$2a_{34} = bc(ab'\rho + [a'b' - a''b]\sigma),\ a_{44} = o.$$

Eine solche Fläche ist eine Rotationsfläche, wenn neben $a_{12} = o$ eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist (II § 100, **3**):

$$(24)\quad a_{31} = o,\ a_{23} \lesseqgtr o,\ (a_{11} - a_{22})(a_{11} - a_{33}) - a_{23}^2 = o;$$
$$(25)\quad a_{23} = o,\ a_{31} \lesseqgtr o,\ (a_{22} - a_{33})(a_{22} - a_{11}) - a_{31}^2 = o;$$
$$(26)\quad a_{23} = o,\ a_{31} = o,\ a_{22} = a_{33} \text{ oder } a_{33} = a_{11} \text{ oder } a_{11} = a_{22}.$$

Im Falle (24) wäre nach (23) $\tau = 0$ und damit $a_{22} = 0$. Da aber auch $a_{11} = 0$, sind die Bedingungen (24) nicht miteinander verträglich.

Im Falle (25) kann man nach (23) $\tau = 1$ nehmen, worauf die andern Bedingungen lauten:

(27) $ab\sigma = a'b - 2ab'$, $4ac^2\{ab^2\rho + abb'\sigma + (ab'^2 - a'bb' + a''b^2 - ac^2)\} + b^4c^2 = 0.$

Hieraus folgt aber, sowohl für $b' \leqslant 0$ als für $b' = 0$:

(28) $4a^2b^2\rho = 4a(ab'^2 + ac^2 - a''b^2) - b^4$, $ab\sigma = a'b - 2ab'$, $\tau = 1$.

Im Falle (26) ist $\sigma = 0$, $\tau = 0$, so dass $\rho = 1$ genommen werden kann. Man erhält dann aus (23):

(29) $a_{11} = 0$, $a_{22} = 0$, $a_{33} = ab^2$, $a_{23} = 0$, $a_{31} = 0$, $a_{12} = 0$, $a_{14} = 0$, $2a_{24} = -abc^2$, $2a_{34} = abb'c$, $a_{44} = 0$.

Danach ergibt sich:

Die Gleichungen der zwei durch die kubische Parabel:

(30) $x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda$, $y = b\lambda^2 + b'\lambda$, $z = c\lambda$, $t = 1$

gehenden Rotationsflächen lauten:

(31) $b(2acx + b^2z)^2 - 4a^2bc^2(x^2 + y^2 + z^2) - 4b^2c^2(a'b - 2ab')xt + c^2(4a'[a'b - 2ab']b + 4a[ab'^2 + ac^2 - a''b^2] - b^4)yt - c(4[a'b' - a''b][a'b - 2ab']b + 4a[ab'^2 + ac^2 - a''b^2]b' - b^4b')zt = 0,$

und:

(32) $bz^2 - c^2yt + b'czt = 0.$

Die zweite Rotationsfläche (32) ist der parabolische Zylinder (§ 1, 7), der durch die Kurve geht.

7. Die Berührungssehnen bei der kubischen Parabel. Die Berührungsehnen der Rotationsflächen (31) und (32) haben neben $t = 0$ die Gleichungen:

(33) $2acx + b^2z = 0$; (34) $z = 0$.

Die unendlich fernen Kurven der beiden Flächen sind:

(35) $(2acx + b^2z)^2 - 4a^2c^2(x^2 + y^2 + z^2) = 0$; (36) $z^2 = 0$.

Beide haben eine doppelte Berührung mit dem imaginären Kugelkreis und beide berühren sich in dem dreifach zählenden, unendlich fernen Punkte X ($\lambda = \infty$) der kubischen Parabel (Fig. 8).

§ 6. Die kubischen Ellipsen mit Rotationszylinder.

1. Die Seiten E_1E_2 und E_1E_3 als Tangenten des Kugelkreises. Die drei unendlich fernen Punkte E_1, E_2, E_3 der allgemeinen kubischen Ellipse:

(1) $x = a\lambda^3 + a'\lambda^2 + a''\lambda, \quad y = b\lambda^2 + b'\lambda, \quad z = c\lambda, \quad t = \lambda^2 + e^2$

haben in der unendlich fernen Ebene $t = o$ die Koordinaten:

(2) $E_1 : x = 1, \; y = o, \; z = o; \quad E_2 : x_0 = -ae^3i - a'e^2 + a''ei,$
$y_0 = -be^2 + b'ei, \; z_0 = cei;$
$E_3 : x_0' = ae^3i - a'e^2 - a''ei,$
$y_0' = -be^2 - b'ei, \; z_0' = -cei.$

Die beiden imaginären Seiten $s_2 = E_3E_1$ und $s_3 = E_1E_2$ des Dreiecks $E_1E_2E_3$ haben [§ 3, (4)] die Linienkoordinaten:

(3) $u = o, \; v = z_0', \; w = -y_0'; \quad u = o, \; v = z_0, \; w = -y_0$

oder nach (2) zusammengefasst:

(4) $u = o, \; v = \mp cei, \; w = be^2 \pm b'ei.$

Für diese Koordinaten (4) ist aber:

(5) $u^2 + v^2 + w^2 = e^2(b^2e^2 - c^2 - b'^2 \pm 2bb'ei).$

Da aber $abce \lesseqgtr o$, so folgt mit Rücksicht auf die Gleichung des imaginären Kugelkreises in Linienkoordinaten der unendlich fernen Ebene:

(6) $u^2 + v^2 + w^2 = o.$

Die beiden imaginären Seiten des Dreiecks der drei unendlich fernen Punkte der kubischen Ellipse (1) sind immer dann und nur dann Tangenten des imaginären Kugelkreises, wenn:

(7) $b' = o, \quad b^2e^2 - c^2 = o \; (c = \varepsilon be, \; \varepsilon = \pm 1).$

2. Die beiden Rotationsflächen. Im Falle (7) wird nun nach § 3, (24):

(8) $\alpha = -(ae^2 - a'')^2 + a'^2e^2, \quad \beta = 2(ae^2 - a'')a'e$

und damit:

(9) $\alpha^2 + \beta^2 = \{(ae^2 - a'')^2 + a'^2e^2\}^2$

(10) $\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = 2a'^2e^2, \quad -\alpha + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} = 2(ae^2 - a'')^2.$

Ferner wird nach § 3, (27); (28):

(11) $A = \varepsilon a'e, \quad B = \varepsilon(ae^2 - a''), \quad \varepsilon = \text{sign. } a',$

und hat nach § 3, (31), unabhängig von ε, das Wertepaar u, v eine der beiden Bedeutungen:

(12) $u = a', \quad v = -(ae^2 - a''), \qquad$ (13) $u = -a', \quad v = ae^2 - a''.$

Nach § 5, (12) folgt damit:

Die Gleichungen der beiden Rotationsflächen der kubischen Ellipse (1), (7) lauten:

$$(13)\quad \{-bcx + 2a'cy - 2(ae^2 - a'')bz\}^2 - b^2c^2(x^2 + y^2 + z^2) + 4a'b^2c^2xt - bc^2(4a'^2 - b^2 + 4a[ae^2 - a'])yt - 4a'a''b^2czt = 0,$$

$$(14)\quad b^2c^2x^2 - b^2c^2(x^2 + y^2 + z^2) + b^3c^2yt = 0.$$

3. Der Rotationszylinder. Die zweite Rotationsfläche, deren Gleichung (14) auf:

$$(15)\quad y^2 + z^2 - byt = 0$$

zurückkommt, ist ein Rotationszylinder.

Im allgemeinen geht durch die kubische Ellipse (1) ein einziger Zylinder 2. Ordnung und zwar ein elliptischer, der Sehnenkegel des Punktes $\lambda = \infty$ der Kurve. Seine Gleichung lautet nach § 1, **5**:

$$(16)\quad c^2y^2 + (b^2e^2 + b'^2)z^2 - 2b'cyz - bc^2yt + bb'czt = 0.$$

Da hier in der Bezeichnung von § 1, (14):

$$a_{11} = 0, \quad a_{22} = c^2 \gtrless 0, \quad a_{33} = b^2e^2 + b'^2 \gtrless 0, \quad a_{31} = 0, \quad a_{12} = 0,$$

$$(a_{11} - a_{22})(a_{11} - a_{33}) - a_{23}^2 = b^2c^2e^2 \lesseqgtr 0,$$

so kann die Fläche nach § 5, (24)—(26) nur dann eine Rotationsfläche sein, wenn $a_{23} = 0$, $a_{22} = a_{33}$, also:

$$b' = 0, \quad b^2e^2 - c^2 = 0.$$

Der elliptische Zylinder der kubischen Ellipse (1) wird immer dann und nur dann ein Rotationszylinder, wenn die Bedingungen (7) erfüllt sind.

4. Rotationshyperboloid oder -Kegel. Die erste Rotationsfläche (13) ist (nach § 1, 7) im allgemeinen ein einschaliges Rotationshyperboloid.

Sie kann jedoch nach § 1, (13) auch ein Rotationskegel werden. Dies tritt ein, wenn für die Werte ρ, σ, τ in § 5, (6):

$$(17)\quad \rho\tau - \sigma^2 = 0.$$

Diese Werte sind aber für die Fläche (13) mit $-e^2$ für e^2 und mit Rücksicht auf (12):

$$(18)\quad a\rho = 4a(ae^2 - a'') - b^2, \quad \sigma = 4a', \quad e^2\tau = -4(ae^2 - a''),$$

so dass die Bedingung (17) wird:

$$(19)\quad 4a\{(ae^2 - a'')^2 + a'^2e^2\} - (ae^2 - a'')b^2 = 0$$

und das Verhältnis λ in § 1, (13) den Wert bekommt:

$$(20)\quad \lambda = \frac{\rho}{\sigma} = \frac{\sigma}{\tau} = \frac{4a(ae^2 - a'') - b^2}{4aa'} = \frac{-a'e^2}{ae^2 - a''}.$$

Unter den Bedingungen (7) und (19) sind die beiden durch die kubische Ellipse (1) gehenden Rotationsflächen ein Rotationszylinder und ein Rotationskegel. Der letztere ist der Sehnenkegel des Kurvenpunktes mit dem Parameter (20).

5. Unendlich ferne Kurven und Berührungssehnen. Die Lage der unendlich fernen Kurven der beiden Rotationsflächen (13) und (15) ist in Fig. 9 schematisch, als wenn alles reell wäre, dargestellt.

Die unendlich ferne Kurve des Rotationszylinders (15) ist das imaginäre Linienpaar $r_0 r_0$, dessen Strahlen den imaginären Kugelkreis k in B_0 und B_0' berühren und das die drei Punkte E_1, E_2, E_3 der Raumkurve, den ersten als Doppelpunkt, enthält. Die zugehörige Berührungssehne $B_0 B_0'$ ist nach (14) die Seite $x = 0$ des Koordinatendreiecks X, Y, Z.

Die unendlich ferne Kurve r des Rotationshyperboloides oder -Kegels (13) berührt, durch E_1, E_2, E_3 gehend, den Kugelkreis k in zwei Punkten B und B', und die Berührungssehne $b = BB'$ hat die Gleichung:

$$(21)\quad bcx - 2a'cy + 2(ae^2 - a'')bz = 0.$$

§ 7. Die kubischen Ellipsen mit nur einer Rotationsfläche.

1. Die Punkte E_2 und E_3 als Punkte des Kugelkreises. Die beiden imaginären, unendlich fernen Punkte § 6, (2) der kubischen Ellipse § 6, (1) liegen auf dem imaginären Kugelkreis § 3, (5), wenn

$$(1)\quad x_0^2 + y_0^2 + z_0^2 = w^2 = 0,\quad x_0'^2 + y_0'^2 + z_0'^2 = w'^2 = 0.$$

Daraus ergibt sich aber mit Rücksicht auf § 3, (20):

Die beiden imaginären, unendlich fernen Punkte der kubischen Ellipse § 6, (1) liegen immer dann und nur dann auf dem imaginären Kugelkreis, wenn:

$$(2)\quad (ae^2 - a'')^2 - (a'^2 + b^2)e^2 + (b'^2 + c^2) = 0,$$
$$(ae^2 - a'')a' - bb' = 0.$$

2. Die Rotationsfläche. Im Falle (2) wird nach § 3, (24) und (27):

$$(3)\quad \alpha = 0,\ \beta = 0;\quad A = 0,\ B = 0,$$

so dass die beiden Wertepaare § 3, (31) von u, v in das eine zusammenfallen:

$$(4)\quad u = 0,\ v = 0.$$

Damit folgt aber aus § 5, (12):

Unter den Bedingungen (2) geht durch die kubische Ellipse nur eine einzige Rotationsfläche:

$$\begin{aligned}(5)\quad &\{-bcx + a'cy - ([ae^2 - a'']b + a'b')z\}^2 - b^2c^2(x^2 + y^2 + z^2)\\ &+ 2a'b^2c^2xt - bc^2(2a[ae^2 - a''] + a'^2 - b^2)yt\\ &+ bc(2a[ae^2 - a'']b' - 2a'a''b + a'^2b' - b^2b')zt = 0.\end{aligned}$$

Ihre Berührungsehne:

$$(6)\quad c(bx - a'y) + ([ae^2 - a'']b + a'b')z = 0$$

ist (§ 3, (4); (3) mit $-e^2$ für e^2) die Seite $s_1 = E_2E_3$ des Dreiecks der drei unendlich fernen Punkte § 6, (2) (Fig. 10).

3. Rotationshyperboloid oder -Kegel. Die Werte ρ, σ, τ in § 5, (6) sind mit Rücksicht auf (4):

$$(7)\quad a\rho = 2a(ae^2 - a'') - a'^2 - b^2,\ \sigma = 2a',\ e^2\tau = -2(ae^2 - a'').$$

Die Bedingung § 6, (17) wird daher:

$$(8)\quad 2a([ae^2 - a'']^2 + a'^2e^2) - (ae^2 - a'')(a'^2 + b^2) = 0.$$

worauf:

$$(9)\quad \lambda = \frac{\rho}{\sigma} = \frac{\sigma}{\tau} = \frac{2a(ae^2 - a'') - a'^2 - b^2}{2aa'} = \frac{-a'e^2}{ae^2 - a''}.$$

Die eine durch die kubische Ellipse § 6, (1), mit den Bedingungen (2), hindurchgehenden Rotationsfläche (5) ist im allgemeinen ein Rotationshyperboloid, unter der weiteren Bedingung (8) aber ein Rotationskegel, der Sehnenkegel des Kurvenpunktes mit dem Parameter (9).

§ 8. Die kubische Ellipse mit Rotationszylinder als einziger Rotationsfläche.

1. Beziehung zum Kugelkreis. Unter den Bedingungen § 6, (7):

$$(1)\quad b' = 0,\quad b^2e^2 - c^2 = 0\quad (c = \varepsilon be,\ \varepsilon = \pm 1)$$

berühren die Seiten E_1E_2 und E_1E_3 des unendlich fernen Dreiecks der kubischen Ellipse den Kugelkreis (Fig. 9). Unter den Bedingungen § 7, (2):

$$(2)\quad (ae^2 - a'')^2 - (a'^2 + b^2)e^2 + (b'^2 + c^2) = o,$$
$$(ae^2 - a'')a' - bb' = o$$

liegen die Ecken E_2 und E_3 auf dem Kugelkreis (Fig. 10).

Sind die Bedingungen (1) und (2) gleichzeitig erfüllt, so berühren die Seiten E_1E_2 und E_1E_3 den Kugelkreis gerade in den Punkten E_2 und E_3 (Fig. 11). Infolge von (1) reduzieren sich aber die Bedingungen (2) auf:

$$(ae^2 - a'')^2 - a'^2e^2 = o,\quad (ae^2 - a'')a' = o,$$

die zur Folge haben, dass sowohl $ae^2 - a''$ als a' verschwinden.

Immer dann und nur dann, wenn:

$$(3)\quad a' = o,\ ae^2 - a'' = o,\ b' = o,\ b^2e^2 - c^2 = o\ (c = \varepsilon be),$$

sind sowohl die Seiten E_1E_2 und E_2E_3 Tangenten, als auch die Ecken E_2 und E_3 Punkte des Kugelkreises.

2. Die Rotationsfläche. Im Falle (3) fällt nun die Rotationsfläche § 6, (13) mit dem Rotationszylinder § 6, (14) zusammen, wird aber auch die Rotationsfläche § 7, (5) identisch mit dem Rotationszylinder § 6, (14).

Immer dann und nur dann, wenn für die kubische Ellipse § 6, (1) die Bedingungen (3) erfüllt sind, ist die einzige durch sie gehende Rotationsfläche ein Rotationszylinder.

Die kubische Ellipse ist dann die Horopterkurve oder der kubische Kreis.

Die Berührungssehne des Rotationszylinders ist nach § 6, (14): $x^2 = o$. Der Horopter geht durch die Kreispunkte der zur Zylinderachse senkrechten Ebenen.[1])

3 Die Gleichungen des kubischen Kreises. Die Gleichungen des kubischen Kreises werden nach § 6, (1) mit den Bedingungen (3):

$$(4)\quad x = a\lambda(\lambda^2 + e^2),\ y = b\lambda^2,\ z = \varepsilon be\lambda,\ t = \lambda^2 + e^2$$

und die Gleichung des Rotationszylinders, auf dem sie liegt:

$$(5)\quad \left(y - \frac{1}{2}b\right)^2 + z^2 = \frac{b^2}{4}.$$

Bei positiv orientiertem Koordinatensystem Oxyz und positiven Konstanten a, b, e ist der kubische Kreis von positivem oder negativem Schraubensinn[2]), je nachdem $\varepsilon = -1$ oder $\varepsilon = +1$.

[1]) Schuh, Zeitschr. Math. Phys. 47 (1902), S. 381.

[2]) Ebenda, S. 395.

Dispersion und Dissoziationsgrad wässeriger Metallsalzlösungen im Ultravioletten.

Mit 4 Textfiguren und 15 Tabellen.

Von

Carl Lübben-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 7. Januar 1913.

1. Einleitung.

Lange Zeit ist man vergeblich bestrebt gewesen, eine einfache Darstellung für die physikalischen Eigenschaften der Lösungen in ihrer Abhängigkeit von der Konzentration aufzufinden. Solange man nur die Gesamtkonzentration berücksichtigte, waren die Bemühungen nur von geringem Erfolg. Erst als man die Dissoziation heranzog, ergaben sich einfache Beziehungen. W. F. Magie[1]) und A. Heydweiller[2]) fanden, dass die relativen Aenderungen pro Gramm Aequivalent der Dichte wie auch des Brechungsexponenten lineare Funktionen des elektrolytischen Dissoziationsgrades sind. Herr Prof. Dr. A. Heydweiller stellte die Beziehung auf:

$$\Delta_s = B_s + (A_s - B_s)\,i$$

wo $\Delta_s = 100\,\frac{s-1}{m}$ der prozentische äquivalente Dichteunterschied, i der elektrolytische Dissoziationsgrad und As und Bs Konstanten sind.

Heydweiller[2]) selbst, sowie Wigger[3]) und Clausen[4]) haben diese Beziehung für die Dichte an einer grossen Anzahl

[1]) W. F. Magie, Phys Rev. **25**, 171, 1907.
[2]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, 875, 1909. **37**, 739, 1912.
[3]) J. Wigger, Inaug.-Diss., Rostock 1909.
[4]) H. Clausen, Diss., Rostock 1911. Ann. d. Phys. **37**, 51, 1912.

von Lösungen innerhalb gewisser Konzentrationsgebiete nachgewiesen.

Rubien[1]) prüfte dieselbe Beziehung für den Brechungsexponenten in der Form

$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)i$$

wo $\Delta_n = 100 \frac{n - n_0}{n_0 m}$ der prozentische äquivalente Brechungszuwachs ist, und wies ihre Gültigkeit für das Na Licht nach. Von Herrn Grufki[2]) wurden Dispersionsbestimmungen im sichtbaren Spektrum für die 3 Wasserstofflinien H_α, H_β, H_γ vorgenommen, und es ergab sich die Gültigkeit der obigen Beziehung auch für diese Linien und somit ihre Gültigkeit im ganzen sichtbaren Gebiet des Spektrums.

Von besonderem Interesse sind die Dispersionsbeobachtungen für sehr kleine und sehr grosse Lichtwellen. Untersuchungen von Lösungen für verschiedene Konzentrationen liegen sowohl im ultravioletten, wie auch im ultraroten Teil des Spektrums nicht vor. Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller habe ich daher eine systematische Untersuchung der Lösungen im ultravioletten Spektrum begonnen.

2. Die Photographie der ultravioletten Strahlen.

Für genaue Beobachtungen im ultravioletten Teil des Spektrums ist man gänzlich auf die Photographie angewiesen, denn Beobachtungen durch Fluorescenz können für feinere Messungen nicht in Betracht kommen. Die Empfindlichkeit der photographischen Platten für ultraviolettes Licht ist eine sehr gute, und es gelingt mit den gewöhnlichen Trockenplatten leicht, den grössten Teil des ultravioletten Spektrums aufzunehmen.

Schumann[3]) gibt ein Verfahren an, Platten herzustellen, die fast frei von Gelatine sind und nur eine sehr dünne Bromsilberschicht enthalten. Diese Platten weisen eine bedeutend erhöhte Empfindlichkeit im Ultraviolett auf, doch ist es sehr schwer, solche Platten fehlerfrei herzustellen. Zumal nach der Entdeckung

[1]) E. Rubien, Diss., Rostock 1911. Ber. u. Abh. d. naturf. Ges. Rostock, Bd. III, 397, 1911.

[2]) K. Grufki, Ber. u. Abh. d. naturf. Ges. Rostock, Bd. IV, 13, 1912. Bd. V, 99, 1913. Diss., Rostock 1913.

[3]) V. Schumann, Sitzungsber. d. Wien. Akad. Mathem. Naturw. Klasse **102**, 415, 625, 994, 1893. Ann. d. Phys. **5**, 349, 1901.

des einfacheren Verfahrens von Miethe[1]) wird die Verwendung der Schumannplatte wohl nur selten in Betracht kommen. Von verschiedenen Trockenplattenfabriken wurden mir Platten zur Verfügung gestellt, und ich habe zahlreiche Versuchsaufnahmen mit denselben ausgeführt. Während die gewöhnlichen Platten keine besondere Ultraviolettenempfindlichkeit aufwiesen, war dies bei der photomechanischen Sigurd-Platte der Fall, auf die ich von Herrn Richard Jahr aufmerksam gemacht worden war. Auch von Menthe[2]) war bereits hervorgehoben worden, dass sich diese Platte für ultraviolette Aufnahmen besonders gut eignet. Die photomechanische Platte besitzt ausserdem ein sehr feines Korn, was ebenfalls von grossem Vorteil war, da die einzelnen Linien im Spektrum bisweilen sehr dicht nebeneinander liegen, und die Feinheit des Korns die Ausmessung sehr erleichterte. Ich habe daher zu allen Aufnahmen die photomechanischen Sigurd-Platten verwandt, die mir von Herrn Richard Jahr in der gewünschten Grösse $3 \times 6{,}5$ cm bereitwilligst zur Verfügung gestellt wurden.[3])

3. Methode und Apparate.

Dispersionsbestimmungen sind im Ultraviolett mehrfach ausgeführt worden[4]), doch wurden die bisher gebrauchten Methoden zu den vorliegenden Untersuchungen nicht verwandt. Es kam nicht darauf an, den absoluten Brechungsexponenten der Lösungen zu bestimmen, sondern nur seinen relativen Wert zu dem des Wassers. Es wurde daher eine neue Differentialmethode ausgearbeitet, die es gestattete, direkt diesen relativen Wert zu bestimmen, ohne dass es nötig war, den Brechungsexponenten des Wassers genau zu kennen. Die Methode ist die folgende:

Als Lichtquelle C (Fig. 1) diente der elektrische Funke zwischen Cd oder Zn Elektroden. Der Spalt S schneidet ein

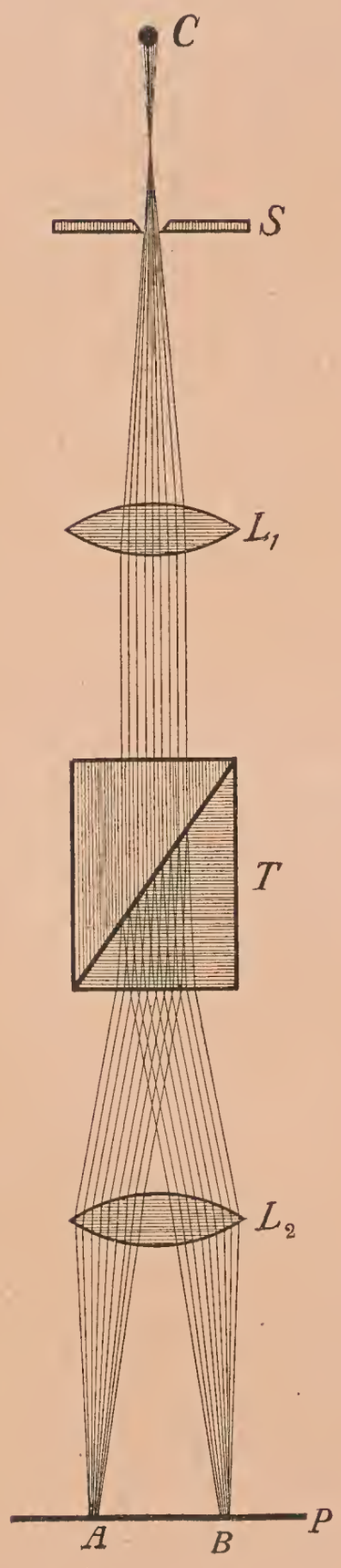
[1]) A. Miethe, Encyklopädie d. Photographie **72**, 159, 1910.

[2]) O. Menthe, Photograph. Rundschau, 49. Jahrgang, Heft 7, 103, 1912.

[3]) Auch an dieser Stelle möchte ich Herrn Richard Jahr, Dresden, für die freundliche Unterstützung mit Plattenmaterial meinen Dank aussprechen.

[4]) H. Th. Simon, Wied. Ann. **53**, 542, 1894.
F. F. Martens, Verhandl. d. deutsch. Physik. Gesellsch. **3**, 11, 1901. Ann. d. Phys. **6**, 603, 1901. **8**, 459, 1912.
F. J. Micheli, Ann. d. Phys. **7**, 772, 1902.
E. Flatow, Ann. d. Phys. **12**, 85, 1903.
A. Stiefelhagen, Diss., Rostock 1905.

Fig. 1.



schmales Bündel aus, das durch eine Linse L_1 parallel gemacht wird und dann auf einen rechteckigen Trog T senkrecht auftrifft. Der Trog ist durch eine planparallele Diagonalplatte in zwei Hälften geteilt, von denen die eine mit Wasser, die andere mit der zu untersuchenden Lösung gefüllt ist. Der Lichtstrahl wird in dem Trog von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt und durch die Linse L_2 auf der photographischen Platte T zu einem Bilde vereinigt. Bei einer Drehung des Troges um 180° wird der Strahl nach der anderen Seite abgelenkt, und es werden auf der Platte zwei Bilder $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ entstehen, aus deren Abstand der relative Brechungsexponent sich berechnen lässt.

Benutzt wurde ein Quarzspektrograph nach V. Schumann (kleines Modell), wie ihn die Firma R. Fuess, Steglitz bei Berlin, zur Aufnahme ultravioletter Strahlen anfertigt.[1]) Die Linsen bestehen aus Quarz, da das durchlässigste Glas höchstens bis zur Wellenlänge 317 (Linie R), Quarz jedoch bis 185 noch sehr gut durchlässig ist. Der Spalt hat eine verstellbare und eine feste Backe, die aus hartem Stahl mit guten Schneiden bestehen. Die bewegliche Backe ist verstellbar durch eine Mikrometerschraube von der Steigung 0,25 mm. Ein Trommelintervall erlaubt die Ablesung der Spaltbreite auf 0,001 mm. Die Kassette besitzt eine besondere Vorrichtung, um mehrere Spektren übereinander aufzunehmen. Zu diesem Zweck ist der Rahmen, der die Kassette trägt, in einer exakten Schlittenführung vertikal

[1]) Ztschr. f. Instrumentenkunde **17**, 321, 1897. **18**, 325, 1898.

verschiebbar. Die Verschiebung wird durch eine Schraube bewirkt, die eine Steigung von 3 mm besitzt und 2 um 180° voneinander entfernte Kerben, in die ein federnder Zahn eingreift, der so stets eine Verschiebung um 1,5 mm anzeigt.

Für sehr genaue Vergleichsmessungen ist jedoch diese Vertikalverschiebung nicht genau genug. Deswegen ist vor dem Spalt eine drehbare Scheibe angebracht mit 3 Oeffnungen. Die grosse Oeffnung von 6 mm und zwei halb so grosse von 3 mm sind so angeordnet, dass sich die beiden kleinen Oeffnungen aneinander anschliessen, wodurch es möglich wird, 2 Spektren übereinander aufzunehmen, ohne die Kassette verschieben zu müssen und die feste Einstellung zu ändern. Die Brennweite der Linsen ist nicht die gleiche für alle Strahlen. Um trotzdem das ganze Spektrum scharf zu erhalten, ist die Kassette um die vertikale Achse drehbar, so dass sie zur Linsenachse geneigt werden kann. An einer Kreisteilung kann man die Drehung ablesen.

Zur genauen Einstellung sind in einem Metallrahmen 2 Scheiben untereinander angebracht. Die untere ist feinkörniges Mattglas, die obere Uranglas, zur Sichtbarmachung der ultravioletten Strahlen. Der Träger der Funkenstrecke wurde in der mechanischen Werkstatt des physikalischen Instituts angefertigt und war so eingerichtet, dass die Funkenstrecke sowohl vertikal, als auch horizontal gestellt werden konnte. Eingehende Versuche zeigten, dass die Linien am schärfsten zu erhalten waren, wenn der Funke zum Spalt parallel, also vertikal übersprang. Auf den Prismentisch des Spektrographen wurde ein Metallrahmen befestigt, in den der Trog sehr genau hineinpasste.

Von Carl Zeiss in Jena wurde ein Trog aus Uviolglas angefertigt, das bis 280 $\mu\mu$ noch sehr gut durchlässig ist. Um jedoch weiter ins Ultraviolette vorzudringen, wurde ein Trog von Schmidt und Haensch, Berlin, angefertigt, dessen Endplatten und Diagonalplatte aus geschmolzenem Quarz hergestellt waren. Die 3 mm dicken Platten waren sehr exakt planparallel geschliffen und gut rechtwinklig zusammengekittet. Für die brechenden Winkel wurde als Mittelwert 61° 28′ 25″ bestimmt. Der Unterschied der beiden brechenden Winkel betrug etwa 2′. Da jedesmal vier Aufnahmen gemacht wurden, sowohl durch Drehen des Troges um 180°, als auch durch Vertauschen von Wasser und Lösung, so ist der geringe Unterschied der brechenden Winkel ohne Einfluss bei der erreichten Genauigkeit.[1])

[1]) Vergl. pag. 12 (38).

Die Ausmessung der Platten erfolgte mit einem Zeiss-mikroskop mit beweglichem Objekttisch, dessen Schraube eine Ganghöhe von 0,2 mm hatte. Eine Trommelteilung gestattete eine Ablesung auf 0,001 mm. Ein bestimmter Teilstrich der im Okular befindlichen Teilung wurde stets auf die Mitte der Linien eingestellt und darauf geachtet, dass bei der Ausmessung der Photogramme die Verschiebung des Objekttisches stets nach derselben Seite erfolgte. Die Breite der Linien war nach dem Sichtbaren zu sehr gering, ein bis zwei Tausendstel Millimeter. Nach dem Ultravioletten zu waren die Linien bisweilen bis zu 0,01 mm breit, jedoch so scharf, dass die Einstellung auf die Mitte bis auf einige Tausendstel Millimeter möglich war.

Da nur die Differenz der Dispersion der Lösung und des Wassers für die Erzeugung des Spektrums in Betracht kommt, so müssen die einzelnen Linien naturgemäss sehr nahe aneinanderliegen. Es mussten daher eingehende Versuche angestellt werden, um möglichst scharfe Linien zu erhalten. Mit der Verengerung des Spaltes nimmt die Schärfe der Linien zu, doch zeigt sich hier eine Grenze, denn bei zu engem Spalt werden die Linien — wohl infolge von Beugungserscheinungen — unscharf und breiter, besonders bei den brechbarsten Linien. Günstig erwies sich eine möglichst grosse Entfernung des Funkens vom Spalt. Sie wurde so gross gewählt, als es zulässig war, um die Belichtungszeit nicht zu sehr zu verlängern und betrug ungefähr 200 cm. Ferner war es vorteilhaft, den Funken schmal und gradlinig zu machen, was durch Zuspitzen der Cadmium-Drähte und richtige Wahl der Funkenlänge erreicht wurde. Auch konnte der eine Cadmiumdraht durch einen scharf zugespitzten Aluminiumdraht ersetzt werden, der viel länger spitz bleibt als der schnell abschmelzende Cadmiumdraht, und daher den Funken besser schmal und gradlinig erhält. Das Spektrum enthielt trotzdem nur die Cadmiumlinien, da das Cadmium im Funken leichter verdampft, als das Aluminium. Da die Intensität der Linien nach dem Ultravioletten sehr stark abnimmt, so war es bisweilen unmöglich, eine Aufnahme zu erhalten, die im ganzen Spektralgebiet zur Ausmessung brauchbar ist. Bei Ueberbelichtung werden die Linien breiter und verschieben sich auch bisweilen, da sie sich nicht gleichmässig nach beiden Seiten verbreitern, sondern nur nach einer Seite, so dass die Mitte der Linien verschoben wird. Ist die Belichtung so gross, dass die brechbarsten Linien gut auszumessen

sind, so ist der sichtbare Teil viel zu stark belichtet, so dass dort nur ein breites Band auftritt, das die ganze Aufnahme durch Schleier unbrauchbar macht. Um diesen Fehler zu beseitigen, wurde in den Gang der Strahlen ein Flüssigkeitsfilter eingeschaltet. Benutzt wurde dazu die von Wood[1]) angegebene Lösung von Nitrosodimethylanilin in Glycerin, die die Strahlen von ca. 500 $\mu\mu$ bis 360 $\mu\mu$ absorbiert. Die 1 %ige Lösung wurde mit 500 Teilen Wasser verdünnt, in einen kleinen Absorptionstrog eingefüllt und in den Behälter eingesetzt, der sich im Spektrographen dicht hinter dem Spalt befand. Die 2,5 mm dicken Endplatten des Gefässes bestanden aus Quarz, die Länge der Flüssigkeitsschicht betrug 9 mm. Eine Aufnahme wurde mit dem Filter bei einer Spaltbreite von 0,10 mm und einer Belichtungszeit von durchschnittlich $^1/_2$ Stunde gemacht. Bisweilen musste jedoch die Belichtungszeit stark verlängert werden, wie z. B. bei den meist etwas gelblich gefärbten Jodidlösungen. Zur Ergänzung wurde dann ohne Filterlösung eine zweite Aufnahme gemacht bei kurzer Belichtung und einer Spaltbreite von 0,06 mm. Aus beiden Aufnahmen waren dann alle Linien sehr gut auszumessen. Da infolge der Differenzwirkung der angewandten Methode der Einfluss der Temperatur sehr herabgesetzt ist, so war eine ganz genaue Innehaltung der Temperatur von 18° nicht erforderlich. Es wurde darauf geachtet, dass die Temperatur des Zimmers nicht mehr als 1° von 18° abwich.

4. Berechnung von $n - n_0$.

Befindet sich die Lösung in der Troghälfte I (Fig 2, pag. 8), Wasser in der Troghälfte II, so nimmt der Strahl den mit dem Index 1 bezeichneten Verlauf.

Es sei:

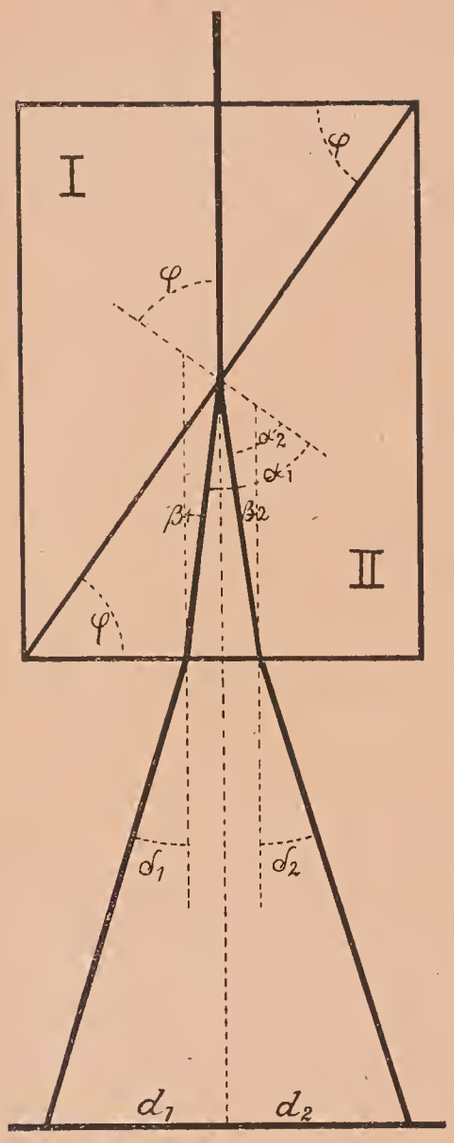
n der Brechungsexponent der Lösung,
n_0 „ „ des Wassers,

dann ist

$$(1)\quad \begin{cases} \sin \delta_1 = n_0 \sin \beta_1 \\ n \sin \varphi = n_0 \sin \alpha_1 \\ \varphi = \alpha_1 - \beta_1 \end{cases}$$

[1]) R. W. Wood, Phys. Ztschr. **4**, 337, 1903.
A. Kalähne, Phys Ztschr. **5**, 415, 1904.

Fig. 2.



Aus den beiden letzten Gleichungen folgt durch Elimination von α_1

$$\begin{aligned} n &= n_0 \cos\beta_1 + n_0 \sin\beta_1 \operatorname{ctg}\varphi \\ n &= n_0 \cos\beta_1 + \operatorname{ctg}\varphi \sin\delta_1 \\ n - n_0 &= \operatorname{ctg}\varphi \sin\delta_1 - n_0(1-\cos\beta_1) \end{aligned}$$

$$(1a)\quad n - n_0 = \operatorname{ctg}\varphi \sin\delta_1 - 2n_0 \sin^2\frac{\beta_1}{2}$$

Wird der Trog um 180° gedreht, so kommt die Diagonalplatte wieder in dieselbe Stellung und es werden nur die Flüssigkeiten vertauscht sein, so dass der Strahl den Weg II nimmt. Für diesen Fall ist

$$(2)\quad \begin{cases} \sin\delta_2 = n_0 \sin\beta_2 \\ n_0 \sin\varphi = n \sin\alpha_2 \\ \varphi = \alpha_2 + \beta_2 \end{cases}$$

Aus den drei Gleichungen folgt wie vorhin

$$(2a)\quad n - n_0 = \operatorname{ctg}\varphi \sin\delta_2 + 2n \sin^2\frac{\beta_2}{2}$$

Durch Addition der beiden Gleichungen 1a und 2a ergibt sich:

$$n - n_0 = \operatorname{ctg}\varphi \frac{\sin\delta_1 + \sin\delta_2}{2} - \left(n_0 \sin^2\frac{\beta_1}{2} - n \sin^2\frac{\beta_2}{2}\right)$$

Sind d_1 und d_2 die Abstände entsprechender Linien auf der Platte, S der Abstand der Platte von dem Punkte der Achse, durch den die Strahlen ungebrochen hindurchgehen, so ist

$$\operatorname{tg}\delta_1 = \frac{d_1}{S},\quad \operatorname{tg}\delta_2 = \frac{d_2}{S}$$

$$\sin\delta_1 = \frac{d_1}{S} - (\operatorname{tg}\delta_1 - \sin\delta_1)$$

$$\sin\delta_2 = \frac{d_2}{S} - (\operatorname{tg}\delta_2 - \sin\delta_2)$$

Führen wir diese Werte für $\sin\delta_1$ und $\sin\delta_2$ ein, so ist

$$n - n_0 = \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{S}\frac{d_1 + d_2}{2} - \varepsilon$$

wo

$$\varepsilon = \operatorname{ctg}\varphi\left(\frac{\operatorname{tg}\delta_1 - \sin\delta_1}{2} + \frac{\operatorname{tg}\delta_2 - \sin\delta_2}{2}\right) + \left(n_0 \sin^2\frac{\beta_1}{2} - n\sin^2\frac{\beta_2}{2}\right)$$

$\frac{d_1 + d_2}{2}$ ist der halbe Abstand der Linien auf der Platte, er sei mit d bezeichnet, so dass

$$(3) \quad n - n_0 = \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{S} \cdot d - \varepsilon \text{ ist.}$$

ε ist eine sehr kleine Korrektionsgrösse, die sich in jedem Falle berechnen lässt. Um jedoch die Rechnung zu vereinfachen, setzen wir

$$(4) \quad n - n_0 = C \cdot d$$

$$(5) \quad \text{wo } C = \frac{\operatorname{ctg}\varphi}{S} - \frac{\varepsilon}{d}$$

Da, wie bemerkt, die Korrektion $\frac{\varepsilon}{d}$ sehr klein ist, so ist C nahe konstant. Man kann für einige angenommene Werte von n und n_0 nach den Formeln 1 und 2 einige Werte für C berechnen und daraus durch Interpolation zu jedem d das zugehörige C ermitteln. In der folgenden Tabelle sind für einige Linien die für verschiedene Werte von d berechneten C zusammengestellt, woraus sich die Grösse der Korrektion $\frac{\varepsilon}{d}$ erkennen lässt.

λ	$C \cdot 10^3$ für						
	d = 0 mm	4 mm	6 mm	8 mm	10 mm	11 mm	12 mm
214,45	3.678	3,674	3,668	3,661	3,651	3,645	3,637
231,29	3,609	3,606	3,602	3,595	3,584	3,578	3,570
274,87	3 520	3,517	3,513	3,506	3,495	3,489	3,481
361,19	3,443	3,440	3,436	3,429	3,420	3,414	3,407
508,60	3,398	3,395	3,391	3,385	3,377	3,371	3,363

5. Bestimmung von S.

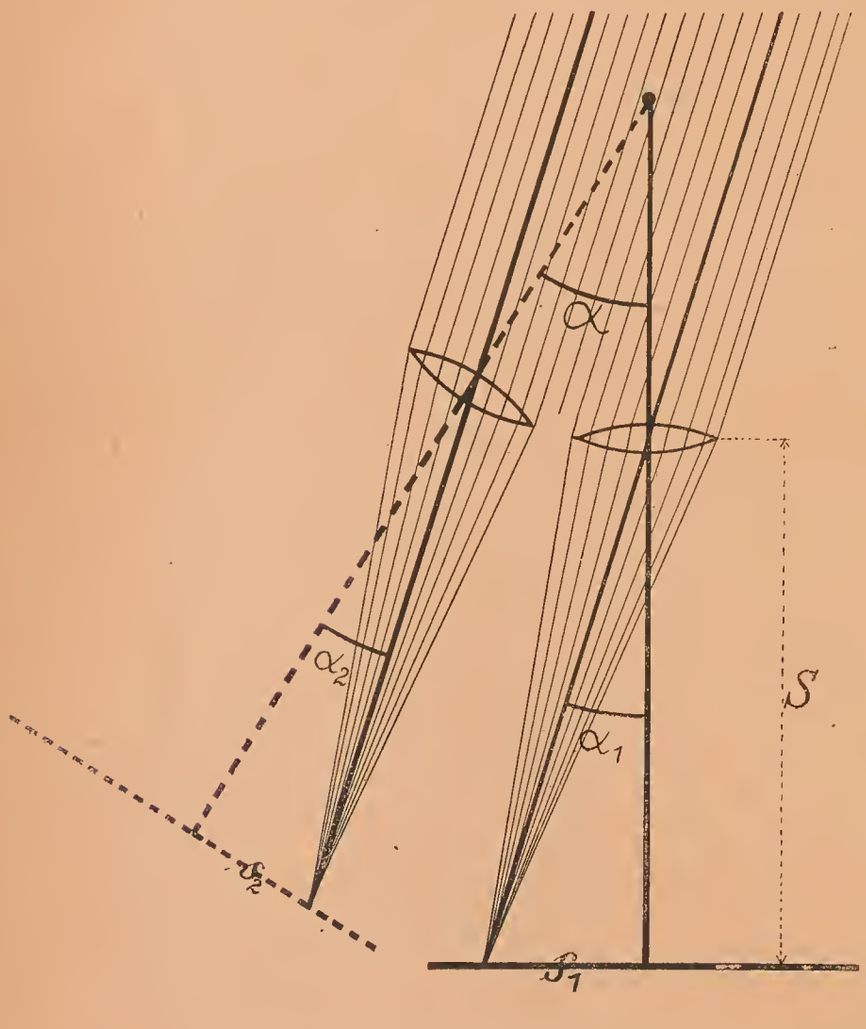
Die Grösse S muss experimentell bestimmt werden, da sie sich durch einfache Ausmessung nicht ermitteln lässt. Wie die Brennweite der Linsen, so muss auch S von der Wellenlänge abhängig sein, für die einzelnen Linien also verschiedene Werte be-

sitzen. Benutzt wurde eine von Martens[1]) angegebene Methode in etwas veränderter Form.

Nach der Aufnahme des direkten Spaltbildes wird das durch den Trog abgelenkte Spaltbild zweimal photographiert, wobei zwischen beiden Aufnahmen der Kamerateil um einen genau gemessenen Winkel α gedreht wird. Martens wählt α klein, was im vorliegenden Fall nicht zulässig ist, denn für sehr kleines α wird die Bestimmung infolge von Messfehlern ungenau und bei grösserem α durchsetzen die Strahlen bei beiden Aufnahmen die Linse an verschiedenen Stellen, wodurch die Bestimmung ebenfalls ungenau wird. α wurde daher so gross gewählt, dass das zweite Spaltbild auf der anderen Seite des direkten Spaltbildes liegt und beide Bilder vom mittleren möglichst gleichen Abstand haben. Der Winkel α wurde durch Spiegelablesung gemessen.

Sind s_1 und s_2 die Abstände derselben Linie in beiden Bildern vom mittleren Bild, so ergibt sich nach Fig. 3

Fig. 3.



$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\operatorname{tg}\alpha_1 + \operatorname{tg}\alpha_2}{1 - \operatorname{tg}\alpha_1 \operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{\frac{s_1}{S} + \frac{s_2}{S}}{1 - \frac{s_1 s_2}{S^2}}$$

$$S = \frac{s_1 + s_2}{2\operatorname{tg}\alpha} + \sqrt{\left(\frac{s_1 + s_2}{2\operatorname{tg}\alpha}\right)^2 + s_1 s_2}$$

und da $s_1 s_2$ klein gegen $\left(\frac{s_1 + s_2}{2\operatorname{tg}\alpha}\right)^2$ ist, so folgt:

$$(6)\quad S = \frac{s_1 + s_2}{\operatorname{tg}\alpha} + \frac{s_1 s_2}{\left(\frac{s_1 + s_2}{\operatorname{tg}\alpha}\right)}$$

$$= \frac{s_1 + s_2}{\operatorname{tg}\alpha}\left(1 + \frac{s_1 s_2 \operatorname{tg}^2\alpha}{(s_1 + s_2)^2}\right)$$

S wurde aus mehreren Messungen als Mittel gewonnen. Eine derselben enthält die folgende Tabelle. Man sieht, dass die Korrektion $\frac{s_1 s_2 \operatorname{tg}^2\alpha}{(s_1 + s_2)^2}$ etwa 1—2 Tausendstel beträgt.

[1]) F. F. Martens, Ann. d. Phys. **6**, 606, 1901.

$\alpha = 4^0\,26'\,1''$

λ	s_1	s_2	$\frac{s_1 + s_2}{\mathrm{tg}\,\alpha}$	$\frac{s_1 s_2}{\left(\frac{s_1 + s_2}{\mathrm{tg}\,\alpha}\right)}$	S
214,45	8,541	2,911	147,70	0,17	147,87
219,47	8,093	3,437	148,70	0,19	148,89
231,29	7,341	4,313	150,30	0,21	150,51
257,32	6,370	5,485	152,89	0,23	153,12
274,87	5,977	5,976	154,16	0,23	154,39
298.11	5,612	6,447	155,53	0,23	155,76
346,70	5,142	7,050	157,24	0,23	157,47
361,19	5,051	7,152	157,38	0,23	157,61
508,60	4,629	7,747	159,61	0,22	159,83

6. Hülfsmethoden zur Bestimmung grosser $n - n_0$.

Der Prismenwinkel des Troges war gleich 60^0 gewählt worden, damit bei den $^1/_2$ Normallösungen die Dispersion noch genügend gross wurde. Bei diesem Winkel war es aber nicht möglich, Brechungsdifferenzen zu messen, die grösser als 0,05 waren, da zwar die Breite der Kassette ausreichte, um noch grössere $n - n_0$ zu bestimmen, die Linsenöffnung jedoch so klein war, dass nur die weniger gebrochenen Linien auf der Platte zu erhalten waren. Um auch die stärker gebrochenen Linien auf der Platte zu erhalten, wurde der Kamerateil um einen kleinen Winkel α gedreht, so dass das Spektrum mehr in die Mitte der Platte kam. An den so bestimmten Abständen der Linien musste eine kleine Korrektion angebracht werden, da das Spektrum nach der Ablenkung stärker auseinandergezogen ist. Da die Abstände der meisten Linien sowohl in der normalen, als auch in der abgelenkten Lage der Platte bestimmt wurden, liess sich diese Korrektion, die nahezu linear von der Wellenlänge abhängig ist, auf graphischem Wege leicht ermitteln. Ist die Brechungsdifferenz so gross, dass keine Linien mehr auf die Platte kommen, so ist die vorerwähnte Methode nicht zu gebrauchen. In diesem Falle bestimmt man nicht die Brechungsdifferenz der Lösung gegen Wasser, sondern ersetzt das Wasser durch eine der verdünnten Lösungen. Bei den Jodiden wurde die Brechungsdifferenz der $^4/_1$ gegen die $^2/_1$ Normallösung bestimmt. Beim Kaliumjodid war

auch diese Differenz zu gross und es wurde dort statt der $^4/_1$ eine $^3/_1$ Normallösung gewählt und die Differenzen $^3/_1$ gegen $^2/_1$ und $^2/_1$ gegen $^1/_1$ bestimmt.

RbBr $s\frac{18}{18} = 1{,}25306$ $\quad m = 2{,}031$ $\quad i = 0{,}743$

λ	$\frac{d_1 + d_2}{2}$	$\frac{d_1' + d_2'}{2}$	d	$C \cdot 10^3$	$n - n_0$	$\frac{d_1 + d_2}{2} - \frac{d_1' + d_2'}{2}$
257,32	11,969 mm	11.938 mm	11,954 mm	3,510	0,04196	0,031
274,87	11,076 „	11,036 „	11,056 „	3,489	0,03857	0,040
288,11	10,613 „	10,576 „	10,595 „	3,475	0,03682	0,037
298,11	10,332 „	10,298 „	10,315 „	3,465	0,03574	0,034
308,10	10,078 „	10,048 „	10,063 „	3,458	0,03480	0,030
313,30	10,000 „	9,970 „	9,985 „	3,453	0,03448	0,030
325,50	9,771 „	9,741 „	9,756 „	3,443	0,03359	0,030
340,36	9,557 „	9,528 „	9,543 „	3,435	0,03278	0,029
346,70	9,470 „	9,441 „	9,456 „	3,431	0,03244	0,029
361,19	9,310 „	9,284 „	9,297 „	3,424	0,03183	0,026
441,59	8,857 „	8,827 „	8,842 „	3,395	0,03 02	0,030
467,83	8.768 „	8,736 „	8,752 „	3,390	0,02967	0,032
508,60	8,632 „	8,600 „	8,616 „	3,383	0,02915	0,032

Ein Beispiel für die Bestimmung von $n - n_0$ gibt die obige Tabelle. $d_1 + d_2$ ist der Abstand entsprechender Linien der beiden durch Drehen des Troges erhaltenen Spektren, $d_1' + d_2'$ derselbe Abstand nach dem Vertauschen von Wasser und verdünnter Lösung. Die in der letzten Spalte angegebene Differenz $\frac{d_1 + d_2}{2} - \frac{d_1' + d_2'}{2}$, die für alle Aufnahmen nahezu konstant gleich 0,03 mm war, lässt einerseits die Genauigkeit der Ausmessung der Photogramme, andererseits die geringe Differenz der brechenden Winkel erkennen, die sich daraus zu etwa 1—2′ berechnet. Da die an und für sich geringe Differenz $\frac{d_1 + d_2}{2} - \frac{d_1' + d_2'}{2}$ zur Hälfte $\frac{d_1 + d_2}{2}$ vergrössert, zur Hälfte $\frac{d_1' + d_2'}{2}$ verkleinert, so wird der Mittelwert d als nahezu fehlerfrei anzusehen sein.

7. Brechungsexponent und Dissoziationsgrad.

Untersucht wurden die $^4/_1$, $^2/_1$, $^1/_1$ und $^1/_2$ Normallösungen von
LiCl, NaCl, CsCl, LiBr, RbBr, LiJ, KJ.
Beim Kaliumjodid wurde wegen der grossen Absorption statt der

$^4/_1$ eine $^3/_1$ Normallösung benutzt. Die CsCl und RbBr Lösungen waren von Herrn Prof. Heydweiller hergestellt worden, der auch die Dichten dieser Lösungen mit dem Senkkörper bestimmte. Die Dichte der übrigen Lösungen wurden von mir mit einer Analysenwage von Sartorius nach dem Verfahren bestimmt, wie es von Heydweiller[1]) angegeben war. Konzentration und Dissoziationsgrad der Lösungen wurden nach dem spezifischen Gewicht interpoliert. Tabelle 2—8 enthält die von mir bestimmten Werte von $n - n_0$ und die Konstanten der Lösungen. Als Elektrodenmaterial für die Funken wurde Cadmium benutzt, bei den Bromiden ausserdem noch Zink. Tabelle 1 enthält die benutzten Linien mit ihren Wellenlängen, die für Cd den Angaben von Flatow[2]), für Zink denen von Landauer[3]) entnommen wurden, ausserdem die Brechungsexponenten des Wassers, die nach den Bestimmungen von Flatow für 20° unter Benutzung der Temperaturkoeffizienten der Landolt-Börnsteinschen Tabellen 1905 für die Temperatur von 18° umgerechnet wurden. Für die von Flatow nicht angegebenen Werte wurden die Exponenten durch graphische Interpolation ermittelt. Ausserdem sind noch die Wellenlängen in Wasser $\frac{\lambda}{n_0}$ und deren Quadrate angegeben, die später zur Berechnung der Eigenschwingungen gebraucht werden.

Die lineare Abhängigkeit des äquivalenten Brechungszuwachses der Lösungen gegen Wasser von gleicher Temperatur vom Dissoziationsgrad, die von Rubien für Na Licht, von Grufki für die drei Wasserstofflinien H_α, H_β, H_γ bewiesen worden ist, bestätigte sich in vollem Umfange auch für die von mir bestimmten Brechungsexponenten. Ist $\Delta_n = 100 \frac{n - n_0}{n_0 \cdot m}$ der äquivalente, prozentische Brechungszuwachs, so ist:

$$(7) \quad \Delta_n = B_n + (A_n - B_n)i$$

Trägt man die Δ_n Werte als Ordinaten, die zugehörigen i Werte als Abzissen auf, so liegen die Punkte auf einer geraden Linie. In den Punkten $i = 0$ und $i = 1$ werden die Ordinaten gleich B_n bzw. A_n. Auf diese Weise lassen sich die Konstanten A_n und B_n leicht graphisch ermitteln. Genauer ergibt sich A_n und B_n

[1]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, 877, 1909.
[2]) E. Flatow, Ann. d. Phys **12**, 85, 1903.
[3]) J. Landauer, Spektralanalyse, Braunschweig 1896.

mittels der Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. In den meisten Fällen reicht das graphische Verfahren vollständig aus und auch im vorliegenden Falle wurden die Konstanten fast durchweg auf diese Weise ermittelt. Tabelle 2—8 enthält die so bestimmten A_n und B_n, sowie die beobachteten und berechneten Δ_n und ihre Differenz. Die Abweichungen betragen höchstens einige Einheiten der fünften Dezimale und dürften wohl Beobachtungsfehlern zuzuschreiben sein. Das Li Cl wurde zuerst versuchsweise untersucht und ist dort die Genauigkeit etwas geringer, was die grösseren Abweichungen erklärt. Im allgemeinen dürften aber die Brechungsexponenten bis auf einige Einheiten der fünften Dezimale richtig sein.

8. Die Eigenschwingungen der Halogene.

Die Abhängigkeit des Brechungsexponenten von der Wellenlänge hat sich in den meisten Fällen gut durch die Ketteler-Helmholtzsche Dispersionsformel darstellen lassen. Für durchsichtige Medien lautet dieselbe in der allgemeinsten Form[1]):

$$(9) \quad n^2 = 1 + \Sigma \frac{m'\lambda^2}{\lambda^2 - \lambda'^2} \text{ oder } n^2 = a^2 + \Sigma \frac{M}{\lambda - \lambda'^2}$$

wo n der Brechungsexponent bei der Wellenlänge λ, λ' die Wellenlänge der Eigenschwingung und m' bzw. a^2 und M Konstanten sind. Beim Vorhandensein von nur einer Eigenschwingung geht sie für Beobachtungen im Ultravioletten über in die Form:

$$(10) \quad n^2 = 1 + a + \frac{M_v}{\lambda^2 - \lambda_v^2}$$

Für Beobachtungen im ultravioletten und sichtbaren Teil muss oft der Einfluss ultraroter Eigenschwingungen berücksichtigt werden und die Dispersionsformel wird dann:

$$(11) \quad n^2 = 1 + a + \frac{M_v}{\lambda^2 - \lambda_v^2} - K\lambda^2$$

Während die Formel (10) sich für die meisten Dispersionsbestimmungen als nicht ausreichend erwiesen hat, sondern eine gute Darstellung erst mit der Formel (11) möglich war, haben sich die vorliegenden Beobachtungen ausnahmslos durch die ein-

[1]) P. Drude, Ann. d. Phys. **14**, 680, 1904. Lehrbuch der Optik.
F. F. Martens, Ann. d. Phys. **6**, 611, 1901.
H. Erfle, Diss., München 1907. Ann. d. Phys. **24**, 672, 1907.

fachere Formel (10) gut darstellen lassen. Für n wird gewöhnlich der Brechungsexponent in Luft, für λ die Wellenlänge in Luft benutzt. Hier aber wird die relative Brechung der Lösung gegen Wasser bestimmt und es ist der relative Brechungsexponent

$$\frac{n}{n_0} = 1 + \frac{n - n_0}{n_0} = 1 + \frac{A_n}{100}$$

für eine normale Ionenlösung,

$$\frac{n}{n_0} = 1 + \frac{B_n}{100}$$

für eine normale Lösung nicht ionisierter Moleküle. Wendet man die Dispersionsformel direkt auf den relativen Brechungsexponenten an, so muss für λ die Wellenlänge in Wasser benutzt werden, so dass

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)^2 = 1 + a + \frac{M_a}{\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2 - \left(\frac{\lambda_a}{n_0}\right)^2}$$

Setzt man $\frac{A_n}{100}\left(2 + \frac{A_n}{100}\right) = A_n'$ und

$\frac{B_n}{100}\left(2 + \frac{B_n}{100}\right) = B_n'$, so ist

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)^2 = 1 + A_n' = 1 + a + \frac{M_a}{\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2 - \left(\frac{\lambda_a}{n_0}\right)^2} \text{ oder}$$

$$\text{(12a)} \quad A_n' = a + \frac{M_a}{\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2 - \left(\frac{\lambda_a}{n_0}\right)^2}$$

und entsprechend

$$\text{(12b)} \quad B_n' = b + \frac{M_b}{\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2 - \left(\frac{\lambda_b}{n_0}\right)^2}$$

Die Konstanten a, M_a, λ_a und b, M_b, λ_b sind nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Benutzung von Näherungswerten zu bestimmen.[1])

Die Durchführung der Berechnung nach dieser Methode ist sehr umständlich und zeitraubend, zumal mit grosser Genauigkeit gerechnet werden muss, wenn nicht die Näherungswerte den wirklichen sehr nahe kommen. Weit einfacher ist ein graphisches Verfahren, das zwar nicht die besten Werte, wie die Methode der

[1]) F. Kohlrausch, Lehrbuch d. prakt. Phys. 1910, pag. 20.

kleinsten Quadrate, aber doch sehr gute Näherungswerte liefert, die in den meisten Fällen den wirklichen schon sehr nahe kommen. Bringt man die Formel (12) auf die Form $(A_n' - a)(\lambda^2 - \lambda_a^2) = M_a$, so sieht man, dass alle durch diese Formel dargestellten Dispersionskurven Hyperbeln sind, deren Asymptoten der A_n' und λ^2 Achse parallel sind und von diesen die Abstände a und λ_a^2 haben. Ist M_a bekannt, so lässt sich die Hyperbel $A_n' \cdot \lambda^2 = M_a$ leicht konstruieren. Die beobachteten Werte ergeben die Hyperbel $(A_n' - a)(\lambda^2 - \lambda_a^2) = M_a$. Beide müssen sich durch Verschiebung parallel zu den Achsen zur Deckung bringen lassen. Die Verschiebungen sind a resp. λ_a^2. Da M_a nicht bekannt ist, konstruiert man auf einen Bogen einige Hyperbeln $A_n' \cdot \lambda^2 = M_a$ für verschiedene Werte von M_a, auf einen zweiten durchsichtigen Bogen die beobachteten Punkte und verschiebt nun diesen auf dem ersten so, dass die Punkte sich mit einer der gezeichneten Hyperbeln decken, wobei die Achsen auf beiden Bogen parallel bleiben müssen. Ist dies gelungen, so hat der Koordinatenanfang des einen Bogens auf dem anderen Bogen die Koordinaten a und λ_a^2 und die zur Deckung gebrachte Hyperbel liefert die dritte Konstante M_a.

Für alle untersuchten Lösungen wurde die Berechnung der Konstanten, sowohl für die A_n, als auch für die B_n, nach der Methode der kleinsten Quadrate vorgenommen. Für die A_n wurden die Näherungswerte durch das graphische Verfahren ermittelt und diese auch bei der Berechnung der B_n als Näherungswerte benutzt. Die berechneten Korrektionen waren bei den A_n Werten klein, bei den B_n Werten jedoch oft so gross, dass die Rechnung mit den verbesserten Konstanten als Näherungswerten wiederholt werden musste, um brauchbare Resultate zu erhalten. Alle Beobachtungen liessen sich sehr gut durch die Formel (10) darstellen. In Tabelle 9—15 sind die Konstanten, sowie die beobachteten und berechneten A_n', B_n', A_n und B_n zusammengestellt. Die Differenzen, die in Einheiten der dritten Dezimale angegeben sind, was der fünften Dezimale des Brechungsexponenten entspricht, zeigen, dass die Abweichungen, die für die relativen Brechungsexponenten $1 + \frac{A_n}{100}$ und $1 + \frac{B_n}{100}$ nur einige Einheiten der fünften Dezimale betragen, im allgemeinen innerhalb der Fehlergrenzen bleiben. Die grössten Abweichungen finden sich naturgemäss bei den kleinsten und bei den grössten Wellenlängen, da die Linien im äussersten Ultraviolett meist breit und weniger

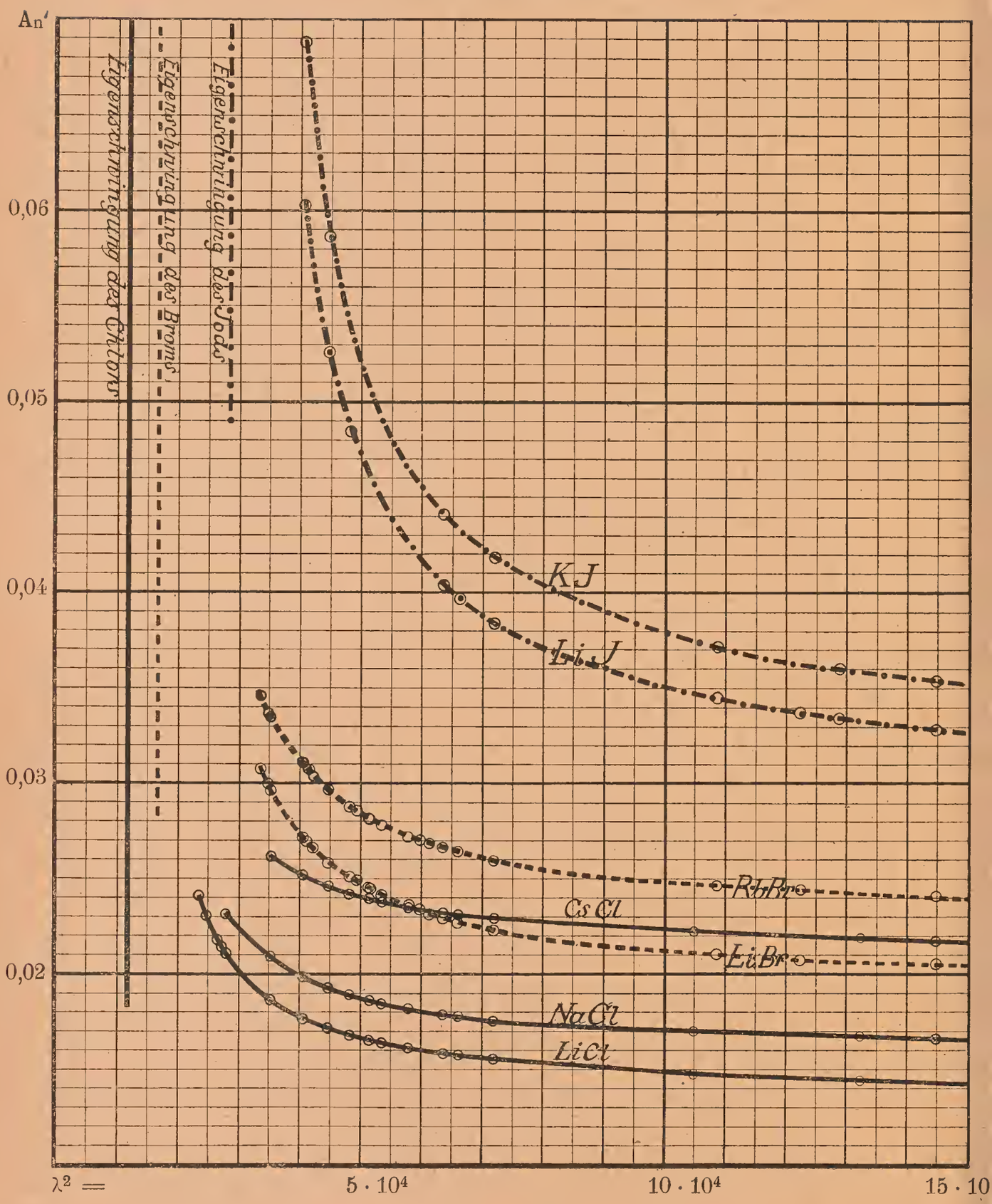
scharf sind und daher ihre Ausmessung ungenauer ist, während die Linien im sichtbaren Teil sehr dicht beieinander liegen, so dass sie nur unsicher festzustellen sind. Zum Vergleich mit Beobachtungen im Sichtbaren sind in den Tabellen die berechneten Werte auch für die 3 Wasserstofflinien und die Natriumlinie angegeben.

Schon bei den photographischen Aufnahmen war es aufgefallen, dass wohl die Spektren der Chloride von denen der Bromide und Jodide gänzlich verschieden sind, die Spektren der Chloride untereinander jedoch stets das gleiche Aussehen zeigten. Es lag daher von vornherein der Schluss nahe, dass allen Chloriden die gleiche Dispersion zukäme. Tatsächlich zeigt sich, dass für gleiche Wellenlängen die A_n' Werte für Cäsiumchlorid innerhalb der Beobachtungsfehler eine konstante, d. h. von der Wellenlänge unabhängige Differenz gegen die des Natriumchlorids und die des Lithiumchlorids zeigen ($0{,}5325 \cdot 10^2$ bzw. $0{,}7461 \cdot 10^2$). Die in Fig. 4 (pag. 18) gezeichneten Dispersionskurven der A_n' lassen deutlich die Parallelität der drei Kurven erkennen. Es ergibt sich daraus das wichtige Resultat, dass für alle Chloride die Eigenschwingung λ_a und die Konstante M_a dieselbe ist und nur a für die einzelnen Chloride verschieden ist. Für die B_n' trifft dies nicht zu. Für die A_n' wurde daher die Berechnung für die drei Chloride gemeinsam durchgeführt, indem die A_n' beim Lithiumchlorid um $0{,}7461 \cdot 10^{-2}$, beim Natriumchlorid um $0{,}5325 \cdot 10^{-2}$ vergrössert wurden und dann das Mittel aus den dreien zur Berechnung benutzt wurde. In Tabelle 9 sind ausser den A_n' für die drei Chloride auch die $A_n' - a$ und das Mittel daraus angegeben, das den beobachteten $\frac{M_a}{\lambda^2 - \lambda_a{}^2}$ entspricht. Die Uebereinstimmung mit dem berechneten $\frac{M_a}{\lambda^2 - \lambda_a{}^2}$ ist eine sehr gute. Die Abweichungen betragen höchstens drei Einheiten der fünften Dezimale des relativen Brechungsexponenten. Die A_n sind für die drei Chloride getrennt berechnet worden, und es ist auch hier die Uebereinstimmung die gleich gute, zumal man beachten muss, dass ja die A_n und B_n bereits durch Extrapolation aus den beobachteten Δ_n gewonnen sind.

Bei den Bromiden wurde die Berechnung für die A_n ebenfalls gemeinsam durchgeführt, obwohl die Differenz $A_n'_{(RbBr)} - A_n'_{(LiBr)}$ nicht ganz konstant ist, sondern einen kleinen,

Fig. 4.

Dispersionskurven.



aber deutlichen Gang zeigt. Immerhin ist die Uebereinstimmung der beobachteten mit den berechneten Werten noch sehr gut,

auch für die getrennt berechneten A_n (Tabelle 11). Ausserdem ergab eine Berechnung, die für beide Bromide getrennt durchgeführt wurde, keine bessere Uebereinstimmung und nur geringe Differenzen in den Konstanten.

Bei den Jodiden war eine gemeinsame Berechnung nicht möglich, jedoch ergibt sich für die Eigenschwingung beim Kaliumjodid ein nur etwa 2 % grösserer Wert als beim Lithiumjodid, so dass auch die Jodide die gleiche Eigenschwingung besitzen dürften. Die geringe Abweichung kann ihren Grund darin haben, dass die Jodidlösungen infolge Abscheidung von freiem Jod etwas gelb gefärbt waren, und zwar beim Kaliumjodid stärker, so dass hier bei der $^3/_1$ Normallösung die 10fache Belichtungszeit notwendig war. Um genauere Resultate zu erhalten, habe ich in Aussicht genommen, mit farblosen Jodidlösungen die Versuche zu wiederholen, was zugleich ein weiteres Vordringen ins ultraviolette Gebiet möglich machen wird.

Beim NaCl und CsCl war es leider der Absorption wegen nicht möglich, weiter ins Ultraviolette vorzudringen. Wie man aus Fig. 4 ersieht, ist in dem beobachteten Gebiet für NaCl und CsCl der Einfluss der Eigenschwingung noch sehr gering, so dass die Berechnung der Eigenwellenlänge fast allein durch das Lithiumchlorid bedingt ist, wo sich am Ende der Kurve der Einfluss der Eigenschwingung schon stärker bemerkbar macht. Grösser ist dieser Einfluss bei den Bromiden und ganz erheblich stärker bei den Jodiden, wo man bereits die asymptotische Annäherung an die Eigenwellenlänge erkennt.

Eine Zusammenstellung der berechneten Konstanten gibt die folgende Tabelle, worin jedoch die mit den B_n' berechneten Konstanten für die Chloride nicht aufgenommen sind, da ihnen nur geringer Wert zukommt, denn einmal haben die B_n nur geringere Genauigkeit als die A_n Werte, da der Dissoziationsgrad der Lösungen näher an 1 als an 0 liegt und sich ja A_n für $i = 1$, B_n für $i = 0$ ergibt und ausserdem kommt bei den Chloriden noch hinzu, dass die beobachteten Werte, wie bereits bemerkt, nur erst wenig von der Eigenschwingung beeinflusst sind und sich daher die Konstanten auch weniger genau berechnen. Für die Bromide und Jodide weichen die aus den B_n' berechneten Konstanten nur wenig von denen aus den A_n' berechneten ab und sind daher als einigermassen zuverlässig mit in die folgende Tabelle aufgenommen.

	Li Cl	Na Cl	Cs Cl	Li Br	Rb Br	Li J	K J
$a \cdot 10^2$	1,3403	1,5539	2,0864	1,8413	2,2211	2,9756	3,1833
Ma	123,47			208,09		385,65	427,77
$\left(\frac{\lambda a}{n_0}\right)^2$	11788			16510		27729	28872
$p \cdot \frac{e}{m}$	$2{,}897 \cdot 10^7$			$2{,}489 \cdot 10^7$		$1{,}635 \cdot 10^7$	$1{,}673 \cdot 10^7$
λa	**165,0**			**185,9**		**231,3**	**235,7**
$b \cdot 10^2$				1,6090	1,3573	2,7921	2,2561
Mb				174,00	144,68	356,66	299,64
$\left(\frac{\lambda b}{n_0}\right)^2$				16972	16318	27628	26056
$p \cdot \frac{e}{m}$				$1{,}969 \cdot 10^7$	$1{,}523 \cdot 10^7$	$1{,}523 \cdot 10^7$	$1{,}439 \cdot 10^7$
λb				**187,9**	**185,1**	**230,9**	**225,0**

Nach Drude[1]) berechnet sich das Verhältnis von Ladung zur Masse für die schwingenden Elektronen nach der Formel

$$p \cdot \frac{e}{m} = 0{,}326 \cdot 10^{-3} \frac{M_v}{\lambda_v{}^4} \cdot \frac{M}{d},$$

wo M das Molekulargewicht, d die Dichte bzw. $\frac{M}{d}$ das 1 gr Molekül enthaltende Volumen und p die Anzahl der schwingenden Elektronen im Molekül ist. Im vorliegenden Falle ist für λ_v die Wellenlänge in Wasser, also $\frac{\lambda_v}{n_0}$, zu setzen, da ja auch der Brechungsexponent auf Wasser bezogen ist. Da ferner für $^1/_1$ Normallösungen $\frac{M}{d} = 10^3$ und $\frac{\lambda_v}{n_0}$ in $\mu\mu$ statt in cm ausgedrückt ist, so berechnet sich $p \cdot \frac{e}{m}$ nach der Formel:

[1]) P. Drude, Ann. d. Phys. **14**, 683, 1904.
H. Erfle, Ann. d. Phys. **24**, 680, 1907.

$$(13) \quad p \cdot \frac{e}{m} = 0{,}326 \cdot 10^{14} \frac{M}{\left(\frac{\lambda_v}{n_0}\right)^4}$$

Zur Umrechnung der für Wasser berechneten Eigenwellenlängen auf Luft wurden die in der letzten Spalte der Tabelle 1 zusammengestellten Brechungsexponenten des Wassers benutzt, die nach Formel (11) mit den Flatowschen Werten[1])

$$a = 1{,}76362, \qquad M_v = 6171{,}7$$
$$\lambda_v^2 = 15886, \qquad K = 1{,}3414 \cdot 10^{-8}$$

berechnet wurden.[2])

Aus Beobachtungen mit Kathodenstrahlen ergibt sich $\frac{e}{m} = 1{,}7 \cdot 10^7$. Da sich für die ultravioletten Eigenschwingungen $p \cdot \frac{e}{m}$ stets von derselben, für die ultraroten Eigenschwingungen dagegen von ganz anderer Grössenordnung berechnet, hat Drude[3]) den Schluss gezogen, dass die ultravioletten Eigenschwingungen durch negativ geladene Elektronen, die ultraroten durch die Moleküle hervorgebracht werden.

Eine gute Bestätigung dieser Theorie liefern die Resultate der vorliegenden Arbeit. Da in vollständig dissoziierten Lösungen alle Chloride dieselbe Eigenschwingung besitzen, so muss diese Eigenschwingung allein den negativ geladenen Chlor-Ionen zugeschrieben werden. Dasselbe gilt für die Bromide und Jodide und dürfte wohl für alle Salzlösungen gelten, was die Beobachtungen von Herrn Grufki im Sichtbaren bestätigen[4]), so dass in solchen Lösungen die Anionen eine ultraviolette Eigenschwingung besitzen. Für die untersuchten Lösungen liessen sich die Beobachtungen ausnahmslos durch die Formel (10) gut darstellen, besitzen also nur eine schwingende Ionengattung im Ultravioletten. Doch ist zu bemerken, dass etwaige Eigenschwingungen, die in der Nähe der ultravioletten Eigenschwingungen des Wassers liegen, durch diese verdeckt werden und daher bei

[1]) E. Flatow, Ann. d Phys. **12**, 85, 1903.

[2]) Mit den von F. F. Martens aus Simons Beobachtungen abgeleiteten Werten der Konstanten für die Wasserdispersion berechnen sich etwas geringere Werte von n_0, oder etwas (um einige Prozent) kleinere Werte der Eigenwellenlänge in Luft.

[3]) P. Drude, Ann. d. Phys. **14**, 682, 1904.

[4]) K. Grufki, Ber. u. Abh. d. naturf. Ges. Rostock. Bd. IV, 13, 1912. Bd. V, 99, 1913.

den vorliegenden Beobachtungen nicht festgestellt werden können. Auch könnten Beobachtungen an anderen Lösungen auch mehrere schwingende Ionengattungen ergeben.

Ein Einfluss des Kations konnte in dem hier untersuchten Gebiet nicht festgestellt werden, dürfte sich aber wohl sicher bei Untersuchungen im ultraroten Teil ergeben, woraus auf ultrarote Eigenschwingungen zu schliessen wäre. $p \cdot \frac{e}{m}$ ergibt sich für alle untersuchten Lösungen von derselben Grössenordnung, wie der für $\frac{e}{m}$ aus den Kathodenstrahlen berechnete Wert $1{,}7 \cdot 10^7$. Danach wäre $p = 1$ zu setzen, so dass also die relative Dispersion des Wassers durch das Mitschwingen nur eines Elektrons pro Molekül bedingt ist und zwar dürfte es wohl das bei der Ionisation vom Kation an das Anion übergehende Elektron sein.[1])

Von Martens[2]) und von Stiefelhagen[3]) sind für die Eigenschwingungen von Chloriden gefunden worden:

	Nach Martens	Nach Stiefelhagen
Na Cl	156 μμ	—
K Cl	161 „	—
$C Cl_4$	178 „	178 μμ
$Si Cl_4$	—	126 „
$CH Cl_3$	—	127 „
$C Cl_4$	—	178 „
$P Cl_3$	—	179 „
$Sn Cl_4$	—	180 „
$As Cl_4$	—	195 „
$Ti Cl_4$	—	240 „

[1]) A. Heydweiller, Phys. Ztschr. XIII, 1012, 1912. Ber. u. Abh. d. naturf. Ges. Rostock, Bd. IV, 21, 1912. Bd. V, 53, 1913.

[2]) F. F. Martens, Ann. d. Phys. **6**, 603, 1901.

[3]) A. Stiefelhagen, Diss., Rostock 1905.

Die von Martens für festes NaCl und KCl berechneten Werte 156 bzw. 161 $\mu\mu$ sind etwas kleiner als die von mir für verdünnte Chloridlösungen berechneten. Das ist auch zu erwarten, da das festere Gefüge des Moleküls mit der stärkeren Konzentrierung der Kraftlinien dem Ion gegenüber eine Verkleinerung der Schwingungsdauer der Elektronenschwingungen bedingt.[1])

Die Schwingungszahlen der Eigenschwingungen für die Elekronen der Cl-, Br- und J Ionen berechnen sich nach Heydweiller[1]) zu 1,82, 1,61 und $1{,}29 \cdot 10^{15}$ in der Sekunde. Die gleichen Periodenzahlen würden Elektronen besitzen, die positive Elementarladungen in Abständen von 1,25, 1,35 und $1{,}55 \cdot 10^{-8}$ cm, also annähernd in Atomdimensionen umkreisen würden.

9. Der Einfluss der Dissoziation.

Im sichtbaren Gebiet des Spektrums fand Herr Grufki[2]) die Differenz $A_n - B_n$ konstant, also unabhängig von der Wellenlänge. Würde dies auch im ultravioletten Teil der Fall sein, so wäre zu folgern, dass die Dissoziation die Eigenschwingung nicht beeinflusst. Aus dem vorliegenden Material ergibt sich aber mit Sicherheit, dass $A_n - B_n$ im Ultravioletten nicht mehr als konstant anzusehen ist, sondern mit abnehmender Wellenlänge zunimmt, wenigstens für die hier untersuchten Lösungen, besonders stark bei kleinen Wellenlängen. Es ist also zweifelsohne ein Einfluss der Dissoziation nicht nur auf die Konstante a, sondern auch auf die Eigenschwingung und die Konstante M vorhanden. Gross ist dieser Einfluss nicht, wie die Berechnungen an den drei Lithiumsalzen und am Rubidiumbromid zeigen. Beim NaCl und CsCl gehen, wie bemerkt, die Beobachtungen nicht bis zu genügend kleinen Wellenlängen, um sichere Schlüsse zu erlauben, wahrscheinlich ist er auch hier nicht erheblich grösser als beim LiCl. Beim KJ kann die schon erwähnte Jodabscheidung den etwas grösseren Einfluss vermehrt haben. Dieser Einfluss der Dissoziation scheint vom Kation herzurühren, doch ist auch ein Einfluss des Anions nicht ausgeschlossen.

Damit in engem Zusammenhange scheint die auffallende Tatsache zu stehen, dass die Absorption bei den verdünnten Chloriden bei ganz verschiedenen Wellenlängen, bei den Bromiden und

[1]) A. Heydweiller, Phys. Ztschr. XIII. 1012, 1912.

[2]) K. Grufki, Ber. u. Abh. d. naturf. Ges. Rostock, Bd. IV, 13, 1912. Bd. V, 99, 1913.

Jodiden stets bei derselben Wellenlänge merklich wird. Eine grosse Anzahl von Vergleichsaufnahmen unter gleichen Umständen ergab bei den Bromiden das Unsichtbarwerden der Linien stets bei derselben Wellenlänge, bei den Chloriden dagegen ungefähr in der Reihenfolge:

Cs, NH_4, Ba, Na, K, Zn, Sr, Mg, Ca, Li, H

wo beim Cs und NH_4 die Absorption bereits bei 250 $\mu\mu$ beginnt, während Mg, Ca, Li und H noch die letzte benutzte Linie 214 $\mu\mu$ durchlassen. Durch die Eigenschwingung λ_b scheint dies nicht bedingt zu sein, denn dann wäre beim Na der Beginn der Absorption früher als beim Cs zu erwarten. Erst genauere Absorptionsmessungen wässeriger Lösungen und Untersuchungen über den Einfluss der Dissoziation auf Absorption würden weitere Schlüsse zu ziehen gestatten.

10. Schluss.

Fassen wir die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit zusammen, so ergeben sich folgende Resultate:

1. Die von Herrn Rubien und Herrn Grufki im sichtbaren Teil des Spektrums nachgewiesene lineare Beziehung zwischen Dissoziationsgrad und Brechungszuwachs wässeriger Salzlösungen
$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)\,i$$
ist innerhalb der erreichten Genauigkeit von einigen Einheiten der fünften Dezimale des Brechungsexponenten im ultravioletten Teil des Spektrums ebenfalls gültig.
2. Alle Beobachtungen haben sich gut durch die vereinfachte Ketteler-Helmholtzsche Dispersionsformel
$$n^2 = a + \frac{M}{\lambda^2 - \lambda'^2}$$
darstellen lassen.
3. In vollständig dissoziierten Lösungen wird die Eigenschwingung im Ultravioletten nur durch die Anionen hervorgerufen. Es ergibt sich als Luftwellenlänge der Eigenschwingung

des Chlors:	165 $\mu\mu$
des Broms:	186 $\mu\mu$
des Jods:	233 $\mu\mu$

4. Ein Einfluss der Dissoziation auf die Eigenschwingung der nicht vollständig dissoziierten Moleküle hat im sichtbaren Teil von Herrn Grufki nicht festgestellt werden können, ist dagegen durch die vorliegende Arbeit für das ultraviolette Gebiet sicher nachgewiesen. Ob der Beginn der Absorption damit im Zusammenhang steht, lässt sich noch nicht mit Sicherheit entscheiden.

Zum Schluss sei es mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die freundliche Ueberlassung des Themas und der wertvollen Apparate, sowie für das stets fördernde Interesse, das er meiner Arbeit immer in ganz besonderem Masse entgegengebracht hat.

Tabelle 1.

Wellenlängen der Cd und Zn Linien und Brechungsexponenten des Wassers.

Wellenlänge in Luft λ	Brechungsexponent des Wassers bei 18° C n_0	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$
Cd 214,45	1,40414	23326
„ 219,47	1,39900	24611
„ 226,51	1,39274	26452
„ 228,81	1,39089	27064
„ 231,29	1,38895	27729
Zn 251,60	1,3766	33405
„ 255,80	1,3746	34629
Cd 257,32	1,37361	35093
„ 274,87	1,36654	40457
Zn 277,10	1,3657	41170
„ 280,10	1,3646	42132
Cd 288,11	1,3626	44707
„ 298,11	1,3598	48062
Zn 301,85	1,3589	49342
Zn 307,60	1,3574	51352
Cd 308,10	1,3574	51520
„ 313,30	1,35622	53366
„ 325,50	1,35352	57831
Zn 330,30	1,3520	59682
„ 334,56	1,3517	61261
Cd 340,36	1,35062	63504
„ 346,70	1,34970	65984
„ 361,19	1,34754	71845
„ 441,59	1,33997	108603
„ 467,83	1,33831	122199
„ 480,01	1,33766	128766
„ 508,60	1,33633	144849

λ	n_0 für 20° C	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$
130	2,801	2150
140	1,851	5720
145	1,722	7090
150	1,642	8340
155	1,588	9530
160	1,549	10670
165	1,519	11800
170	1,496	12920
175	1,477	14040
180	1,462	15160
185	1,449	16300
190	1,438	17450
195	1,429	18620
200	1,421	19810
205	1,414	21030
210	1,408	22250

Tabelle 2. **Li Cl** (42,40)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 214\,45$ / $n_0 = 1{,}40414$				$\lambda = 219{,}47$ / $n_0 = 1{,}39900$				$\lambda = 226{,}51$ / $n_0 = 1{,}39274$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,01222	0,4988	0,715	0,00789	1,127	1,129	+ 2	0,00752	1,078	1,077	— 1	0,00710	1,022	1,020	— 2
1,02441	1,013	0,640	0,01581	1,111	1,108	— 3	0,01500	1,058	1,059	+ 1	0,01415	1,003	1,003	± 0
1,04721	2,009	0,536	0,03054	1,083	1,084	+ 1	0,02900	1,032	1,033	+ 1	0,02738	0,979	0,980	+ 1
1,08980	3,956	0,397	0,05829	1,049	1,048	— 1	0,05538	1,000	0,999	— 1	0,05231	0,949	0,949	± 0
			$A_n = 1{,}201$ / $B_n = 0{,}948$ $A_n - B_n = 0{,}253$				$A_n = 1{,}146$ / $B_n = 0{,}903$ $A_n - B_n = 0{,}243$				$A_n = 1{,}084$ / $B_n = 0{,}860$ $A_n - B_n = 0{,}224$			

$\lambda = 228{,}81$ / $n_0 = 1{,}39089$				$\lambda = 231{,}29$ / $n_0 = 1{,}38895$				$\lambda = 257{,}32$ / $n_0 = 1{,}37361$				$\lambda = 274{,}87$ / $n_0 = 1{,}36654$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00697	1,004	1,005	+ 1	0,00689	0,995	0,987	— 8	0,00606	0,884	0,876	— 8	0,00571	0,838	0,830	— 8
0,01387	0,991	0,988	— 3	0,01359	0,965	0,971	+ 6	0,01194	0,858	0,862	+ 4	0,01128	0,814	0,817	+ 3
0,02691	0,963	0,965	+ 2	0,02643	0,947	0,948	+ 1	0,02324	0,842	0,841	— 1	0,02195	0,800	0,800	± 0
0,05140	0,934	0,934	± 0	0,05049	0,919	0,918	- 1	0,04438	0,817	0,817	± 0	0,04190	0,775	0,776	+ 1
$A_n = 1{,}068$ / $B_n = 0{,}846$ $A_n - B_n = 0{,}222$				$A_n = 1{,}049$ / $B_n = 0{,}831$ $A_n - B_n = 0{,}218$				$A_n = 0{,}928$ / $B_n = 0{,}744$ $A_n - B_n = 0{,}184$				$A_n = 0{,}879$ / $B_n = 0{,}708$ $A_n - B_n = 0{,}171$			

Tabelle 3.

NaCl (58,46)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 231{,}29$ $n_0 = 1{,}38895$				$\lambda = 257{,}32$ $n_0 = 1{,}37361$				$\lambda = 274{,}87$ $n^0 = 1{,}36654$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,02092	0,5065	0,742	0,00751	1,068	1,070	+ 2	0,00665	0,956	0,955	— 1	0,00623	0,910	0,908	— 2
1,04133	1,012	0,682	0,01478	1,051	1,050	— 1	0,01299	0,935	0,936	+ 1	0,01231	0,890	0,890	± 0
1,07966	2,009	0,595	0,02854	1,023	1,021	— 2	0,02510	0,909	0,909	± 0	0,02363	0,861	0,863	+ 2
1,15304	4,003	0,452	0,05410	0,973	0,974	+ 1	0,04744	0,863	0,864	+ 1	0,04485	0,820	0,819	— 1
			$A_n = 1{,}155$ $B_n = 0{,}825$ $A_n - B_n = 0{,}330$				$A_n = 1{,}036$ $B_n = 0{,}722$ $A_n - B_n = 0{,}314$				$A_n = 0{,}988$ $B_n = 0{,}679$ $A_n - B_n = 0{,}309$			

$\lambda = 313{,}30$ $n_0 = 1{,}35622$				$\lambda = 340{,}36$ $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00582	0,847	0,846	— 1	0,00556	0,813	0,816	+ 3	0,00545	0,799	0,801	+ 2	0,00511	0,755	0,756	+ 1
0,01136	0,828	0,829	+ 1	0,01092	0,799	0,799	± 0	0,01069	0,784	0,784	± 0	0,01001	0,740	0,740	± 0
0,02191	0,804	0,803	— 1	0,02097	0,773	0,774	+ 1	0,02057	0,760	0,760	± 0	0,01920	0,715	0,716	+ 1
0,04121	0,759	0,761	+ 2	0,03970	0,734	0,733	— 1	0,03889	0,721	0,719	— 2	0,03636	0,680	0,678	— 2
$A_n = 0{,}922$ $B_n = 0{,}628$ $A_n - B_n = 0{,}294$				$A_n = 0{,}890$ $B_n = 0{,}604$ $A_n - B_n = 0{,}286$				$A_n = 0{,}874$ $B_n = 0{,}592$ $A_n - B_n = 0{,}282$				$A_n = 0{,}825$ $B_n = 0.557$ $A_n - B_n = 0{,}268$			

Tabelle 4.

Cs Cl (168,27)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 257{,}32$ $n_0 = 1{,}37361$				$\lambda = 274{,}87$ $n_0 = 1{,}36654$				$\lambda = 288{,}11$ $n_0 = 1{,}3626$				$\lambda = 298{,}11$ $n_0 = 1{,}3598$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,06473	0 5026	0,782	0,00815	1,180	1,182	+ 2	0,00778	1,132	1,133	+ 1	0,00757	1,105	1,106	+ 1	0,00745	1,090	1,090	± 0
1,12787	0,999	0,753	0,01601	1,167	1,166	— 1	0,01526	1,118	1,118	± 0	0,01487	1,092	1,091	— 1	0,01458	1,073	1,075	+ 2
1,25373	2,001	0,717	0,03155	1,148	1,146	— 2	0,03007	1,100	1,099	— 1	0,02926	1,073	1,072	— 1	0,02875	1,056	1,056	± 0
1,49645	3,994	0,638	0,06053	1,003	1,103	± 0	0,05767	1,057	1,056	— 1	0,05609	1,030	1,030	± 0	0,05508	1,014	1,014	± 0
			$A_n = 1{,}300$ $B_n = 0{,}757$ $A_n - B_n = 0{,}543$				$A_n = 1{,}250$ $B_n = 0{,}715$ $A_n - B_n = 0{,}535$				$A_n = 1{,}222$ $B_n = 0{,}692$ $A_n - B_n = 0{,}530$				$A_n = 1{,}205$ $B_n = 0{,}678$ $A_n - B_n = 0{,}527$			

$\lambda = 313{,}30$ $n_0 = 1{,}35622$				$\lambda = 346{,}70$ $n_0 = 1{,}34970$				$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00731	1,072	1,071	— 1	0,00704	1,038	1,037	— 1	0,00693	1,023	1,024	+ 1	0,00650	0,968	0,965	— 3
0,01428	1,054	1,055	+ 1	0,01376	1,021	1,022	+ 1	0,01359	1,010	1,009	— 1	0,01266	0,948	0,950	+ 2
0,02813	1,036	1,036	± 0	0,02705	1,001	1,003	+ 2	0,02669	0,990	0,990	± 0	0,02492	0,932	0,931	— 1
0,05385	0,994	0,995	+ 1	0,05179	0,961	0,961	± 0	0,05107	0,949	0,948	— 1	0,04745	0,889	0,890	+ 1
$A_n = 1{,}185$ $B_n = 0{,}660$ $A_n - B_n = 0{,}525$				$A_n = 1{,}151$ $B_n = 0{,}627$ $A_n - B_n = 0{,}524$				$A_n = 1{,}138$ $B_n = 0{,}614$ $A_n - B_n = 0{,}524$				$A_n = 1{,}079$ $B_n = 0{,}556$ $A_n - B_n = 0{,}523$			

Tabelle 5. **Li Br** (86,86)

$\lambda = 340{,}36$ / $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 346{,}70$ / $n_0 = 1{,}34970$				$\lambda = 361{,}19$ / $n_0 = 1{,}34754$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00742	1,099	1,100	+ 1	0,00733	1,086	1,087	+ 1	0,00719	1,067	1,067	± 0
0,01510	1,091	1,090	− 1	0,01489	1,077	1,077	± 0	0,01460	1,057	1,057	± 0
0,03114	1,075	1,074	− 1	0,03080	1,064	1,062	− 2	0,03015	1,043	1,042	− 1
0,05693	1,054	1,055	+ 1	0,05630	1,043	1,043	± 0	0,05511	1,023	1,023	± 0
$A_n = 1{,}141$ / $B_n = 0{,}987$ $A_n - B_n = 0{,}154$				$A_n = 1{,}127$ / $B_n = 0{,}977$ $A_n - B_n = 0{,}150$				$A_n = 1{,}108$ / $B_n = 0{,}957$ $A_n - B_n = 0{,}150$			

$\lambda = 441{,}59$ / $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 467{,}83$ / $n_0 = 1{,}33831$				$\lambda = 508{,}60$ / $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00675	1,007	1,007	± 0	0,00663	0,990	0,993	+ 3	0,00561	0,984	0,983	− 1
0,01370	1,998	0,997	− 1	0,01350	0,984	0,983	− 1	0,01333	0,973	0,973	± 0
0,02822	0,981	0,981	± 0	0,02781	0,968	0,968	± 0	0,02744	0,957	0,958	+ 1
0,05150	0,961	0,963	+ 2	0,05084	0,950	0,950	± 0	0,05018	0,939	0,940	+ 1
$A_n = 1{,}046$ / $B_n = 0{,}898$ $A_n - B_n = 0{,}148$				$A_n = 1{,}032$ / $B_n = 0{,}885$ $A_n - B_n = 0{,}147$				$A_n = 1{,}022$ / $B_n = 0{,}876$ $A_n - B_n = 0{,}146$			

Tabelle 5. **Li Br** (86,86)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 251{,}60$ $n_0 = 1{,}3766$				$\lambda = 255{,}80$ $n_0 = 1{,}3746$				$\lambda = 257{,}32$ $n_0 = 1{,}37361$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,03109	0,5000	0,736	0,01016	1,476	1,477	+ 1	0,00977	1,422	1,424	+ 2	0,00968	1,410	1,412	+ 2
1,06343	1,025	0,666	0,02066	1,464	1,463	− 1	0,01990	1,412	1,411	− 1	0,01974	1,402	1,399	− 3
1,13176	2,146	0,564	0,04262	1,443	1,443	± 0	0,04104	1,391	1,391	± 0	0,04063	1,378	1,379	+ 1
1,24271	3,999	0,440	0,07816	1,420	1,419	− 1	0,07518	1,368	1,368	± 0	0,07446	1,356	1,356	± 0
			$A_n = 1{,}528$ $B_n = 1{,}334$ $A_n - B_n = 0{,}194$				$A_n = 1{,}473$ $B_n = 1{,}286$ $A_n - B_n = 0{,}187$				$A_n = 1{,}461$ $B_n = 1{,}274$ $A_n - B_n = 0{,}187$			

$\lambda = 274{,}87$ $n_0 = 1{,}36654$				$\lambda = 277{,}10$ $n_0 = 1{,}3657$				$\lambda = 280{,}10$ $n_0 = 1{,}3646$				$\lambda = 288{,}11$ $n_0 = 1{,}3626$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00888	1,300	1,299	− 1	0,00878	1,286	1,285	− 1	0,00866	1,269	1,271	+ 2	0,00843	1,237	1,239	+ 2
0,01803	1,287	1,289	+ 2	0,01780	1,271	1,273	+ 2	0,01763	1,259	1,258	− 1	0,01719	1,230	1,227	− 3
0,03718	1,268	1,268	± 0	0,03679	1,255	1,254	− 1	0,03635	1,241	1,240	− 1	0,03536	1,209	1,209	± 0
0,06808	1,246	1,246	± 0	0,06726	1,232	1,232	± 0	0,06648	1,218	1,218	± 0	0,06471	1,187	1,188	+ 1
$A_n = 1{,}347$ $B_n = 1{,}166$ $A_n - B_n = 0{,}181$				$A_n = 1{,}332$ $B_n = 1{,}154$ $A_n - B_n = 0{,}178$				$A_n = 1{,}317$ $B_n = 1{,}141$ $A_n - B_n = 0{,}176$				$A_n = 1{,}284$ $B_n = 1{,}112$ $A_n - B_n = 0{,}172$			

$\lambda = 298{,}11$ $n_0 = 1{,}3598$				$\lambda = 301{,}85$ $n_0 = 1{,}3589$				$\lambda = 307{,}60$ $n_0 = 1{,}3574$				$\lambda = 308{,}10$ $n_0 = 1{,}3574$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00817	1,202	1,201	− 1	0,00808	1,189	1,191	+ 2	0,00796	1,173	1,173	± 0	0,00796	1,173	1,170	− 3
0,01656	1,188	1,190	+ 2	0,01644	1,180	1,179	− 1	0,01614	1,160	1,161	+ 1	0,01611	1,158	1,159	+ 1
0,03423	1,173	1,173	± 0	0,03391	1,163	1,162	− 1	0,03335	1,145	1,144	− 1	0,03326	1,142	1,142	± 0
0,06264	1,152	1,152	± 0	0,06199	1,141	1,142	+ 1	0,06097	1,123	1,124	+ 1	0,06084	1,121	1,122	+ 1
$A_n = 1{,}245$ $B_n = 1{,}079$ $A_n - B_n = 0{,}166$				$A_n = 1{,}234$ $B_n = 1{,}070$ $A_n - B_n = 0{,}164$				$A_n = 1{,}216$ $B_n = 1{,}052$ $A_n - B_n = 0{,}164$				$A_n = 1{,}213$ $B_n = 1{,}051$ $A_n - B_n = 0{,}162$			

$\lambda = 313{,}30$ $n_0 = 1{,}35622$				$\lambda = 325{,}50$ $n_0 = 1{,}35352$				$\lambda = 330{,}30$ $n_0 = 1{,}3520$				$\lambda = 334{,}56$ $n_0 = 1{,}3517$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00785	1,157	1,159	+ 2	0,00765	1,130	1,129	− 1	0,00757	1,120	1,119	− 1	0,00751	1,111	1,109	− 2
0,01597	1,149	1,148	− 1	0,01549	1,117	1,118	+ 1	0,01536	1,108	1,108	± 0	0,01518	1,096	1,099	+ 3
0,03293	1,132	1,131	− 1	0,03203	1,103	1,102	− 1	0,03171	1,093	1,092	− 1	0,03144	1,084	1,083	− 1
0,06020	1,110	1,111	+ 1	0,05856	1,082	1,082	± 0	0,05796	1,072	1,073	+ 1	0,05751	1,064	1,064	± 0
$A_n = 1{,}202$ $B_n = 1{,}040$ $A_n - B_n = 0{,}162$				$A_n = 1{,}171$ $B_n = 1{,}012$ $A_n - B_n = 0{,}159$				$A_n = 1{,}160$ $B_n = 1{,}005$ $A_n - B_n = 0{,}155$				$A_n = 1{,}150$ $B_n = 0{,}996$ $A_n - B_n = 0{,}154$			

$\lambda = 340{,}36$ $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 346{,}70$ $n_0 = 1{,}34970$				$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00742	1,099	1,100	+ 1	0,00733	1,086	1,087	+ 1	0,00719	1,067	1,067	± 0
0,01510	1,091	1,090	− 1	0,01489	1,077	1,077	± 0	0,01460	1,057	1,057	± 0
0,03114	1,075	1,074	− 1	0,03080	1,064	1,062	− 2	0,03015	1,043	1,042	− 1
0,05693	1,054	1,055	+ 1	0,05630	1,043	1,043	± 0	0,05511	1,023	1,023	± 0
$A_n = 1{,}141$ $B_n = 0{,}987$ $A_n - B_n = 0{,}154$				$A_n = 1{,}127$ $B_n = 0{,}977$ $A_n - B_n = 0{,}150$				$A_n = 1{,}108$ $B_n = 0{,}957$ $A_n - B_n = 0{,}150$			

$\lambda = 441{,}59$ $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 467{,}83$ $n_0 = 1{,}33831$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00675	1,007	1,007	± 0	0,00663	0,990	0,993	+ 3	0,00561	0,984	0,983	− 1
0,01370	1,998	0,997	− 1	0,01350	0,984	0,983	− 1	0,01333	0,973	0,973	± 0
0,02822	0,981	0,981	± 0	0,02781	0,968	0,968	± 0	0,02744	0,957	0,958	+ 1
0,05150	0,961	0,963	+ 2	0,05084	0,950	0,950	± 0	0,05018	0,939	0,940	+ 1
$A_n = 1{,}046$ $B_n = 0{,}898$ $A_n - B_n = 0{,}148$				$A_n = 1{,}032$ $B_n = 0{,}885$ $A_n - B_n = 0{,}147$				$A_n = 1{,}022$ $B_n = 0{,}876$ $A_n - B_n = 0{,}146$			

$\lambda = 340{,}36$ $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 346{,}70$ $n_0 = 1{,}34970$				$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.
0,00844	1,224	1,224	± 0	0,00835	1,211	1,212	+ 1	0,00820	1,191	1,192	+ 1
0,01670	1,212	1,212	± 0	0,01655	1,202	1,200	− 2	0,01623	1,181	1,179	− 2
0,03278	1,195	1,195	± 0	0,03244	1,184	1,183	− 1	0,03183	1,163	1,163	± 0
0,06356	1,156	1,157	+ 1	0,06290	1,144	1,145	+ 1	0,06170	1,124	1,125	+ 1
$A_n = 1{,}321$ $B_n = 0{,}830$ $A_n - B_n = 0{,}491$				$A_n = 1{,}309$ $B_n = 0{,}818$ $A_n - B_n = 0{,}491$				$A_n = 1{,}288$ $B_n = 0{,}800$ $A_n - B_n = 0{,}488$			

$\lambda = 441{,}59$ $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 467{,}83$ $n_0 = 1{,}33831$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. − beob.
0,00773	1,129	1,131	+ 2	0,00766	1,120	1,120	± 0	0,00753	1,105	1,102	− 3
0,01530	1,119	1,119	± 0	0,01512	1,108	1,108	± 0	0,01483	1,088	1,090	+ 2
0,03002	1,103	1,102	− 1	0,02967	1,092	1,091	− 1	0,02915	1,074	1,073	− 1
0,05805	1,064	1,065	+ 1	0,05733	1,052	1,054	+ 2	0,05631	1,035	1,036	+ 1
$A_n = 1{,}226$ $B_n = 0{,}744$ $A_n - B_n = 0{,}482$				$A_n = 1{,}215$ $B_n = 0{,}734$ $A_n - B_n = 0{,}481$				$A_n = 1{,}197$ $B_n = 0{,}715$ $A_n - B_n = 0{,}482$			

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 251{,}60$ $n_0 = 1{,}3766$				$\lambda = 255{,}80$ $n_0 = 1{,}3746$				$\lambda = 257{,}32$ $n_0 = 1{,}37361$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,06446	0,5108	0,803	0,01126	1,601	1,604	+ 3	0,01088	1,550	1,553	+ 3	0,01078	1,537	1,540	+ 3
1,12801	1,020	0,777	0,02234	1,591	1,588	— 3	0,02158	1,539	1,538	— 1	0,02139	1,527	1,525	— 2
1,25306	2,031	0,743	0,04379	1,566	1,567	+ 1	0,04238	1,518	1,517	— 1	0,04196	1,504	1,505	+ 1
1,50208	4,072	0,665	0,08521	1,520	1,520	± 0	0,08221	1,469	1,470	+ 1	0,08152	1,458	1,458	± 0
			$A_n = 1{,}724$ $B_n = 1{,}114$ $A_n - B_n = 0{,}610$				$A_n = 1{,}672$ $B_n = 1{,}070$ $A_n - B_n = 0{,}602$				$A_n = 1{,}658$ $B_n = 1{,}061$ $A_n - B_n = 0{,}597$			

$\lambda = 274{,}87$ $n_0 = 1{,}36654$				$\lambda = 277{,}10$ $n_0 = 1{,}3657$				$\lambda = 280{,}10$ $n_0 = 1{,}3646$				$\lambda = 288{,}11$ $n_0 = 1{,}3626$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00992	1,421	1,424	+ 3	0,00982	1,408	1,412	+ 4	0,00972	1,395	1,396	+ 1	0,00948	1,362	1,364	— 2
0,01967	1,411	1,409	— 2	0,01950	1,400	1,397	— 3	0,01922	1,381	1,382	+ 1	0,01877	1,350	1,350	± 0
0,03857	1,390	1,389	— 1	0,03821	1,377	1,378	+ 1	0,03778	1,363	1,363	± 0	0,03682	1,331	1,331	± 0
0,07474	1,343	1,344	+ 1	0,07415	1,333	1,333	± 0	0,07332	1,319	1,319	± 0	0,07149	1,288	1,288	± 0
$A_n = 1{,}539$ $B_n = 0{,}956$ $A_n - B_n = 0{,}583$				$A_n = 1{,}526$ $B_n = 0{,}949$ $A_n - B_n = 0{,}577$				$A_n = 1{,}507$ $B_n = 0{,}946$ $A_n - B_n = 0{,}561$				$A_n = 1{,}473$ $B_n = 0{,}920$ $A_n - B_n = 0{,}553$			

$\lambda = 298{,}11$ $n_0 = 1{,}3598$				$\lambda = 301{,}85$ $n_0 = 1{,}3589$				$\lambda = 307{,}60$ $n_0 = 1{,}3574$				$\lambda = 308{,}10$ $n_0 = 1{,}3574$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00921	1,326	1,325	— 1	0,00913	1,315	1,314	— 1	0,00898	1,295	1,296	+ 1	0,00897	1,294	1,293	— 1
0,01820	1,312	1,312	± 0	0,01801	1,299	1,300	+ 1	0,01776	1,282	1,282	± 0	0,01770	1,278	1,279	+ 1
0,03574	1,294	1,294	± 0	0,03542	1,283	1,283	± 0	0,03490	1,266	1,265	— 1	0,03480	1,262	1,262	± 0
0,06939	1,253	1,253	± 0	0,06875	1,243	1,242	— 1	0,06766	1,224	1,226	+ 2	0,06754	1,122	1,123	+ 1
$A_n = 1{,}428$ $B_n = 0{,}906$ $A_n - B_n = 0{,}522$				$A_n = 1{,}416$ $B_n = 0{,}898$ $A_n - B_n = 0{,}518$				$A_n = 1{,}395$ $B_n = 0{,}890$ $A_n - B_n = 0{,}505$				$A_n = 1{,}392$ $B_n = 0{,}887$ $A_n - B_n = 0{,}505$			

$\lambda = 313{,}30$ $n_0 = 1{,}35622$				$\lambda = 325{,}50$ $n_0 = 1{,}35352$				$\lambda = 330{,}30$ $n_0 = 1{,}3520$				$\lambda = 334{,}56$ $n_0 = 1{,}3517$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00887	1,281	1,281	± 0	0,00864	1,250	1,252	+ 2	0,00856	1,239	1,242	+ 3	0,00851	1,233	1,233	± 0
0,01754	1,268	1,268	± 0	0,01714	1,241	1,239	— 2	0,01698	1,231	1,229	— 2	0,01681	1,219	1,220	+ 1
0,03448	1,252	1,251	— 1	0,03359	1,222	1,222	± 0	0,03331	1,213	1,212	— 1	0,03305	1,204	1,204	± 0
0,06690	1,211	1,211	± 0	0,06516	1,182	1,183	+ 1	0,06456	1,173	1,174	+ 1	0,06418	1,166	1,165	— 1
$A_n = 1{,}381$ $B_n = 0{,}875$ $A_n - B_n = 0{,}506$				$A_n = 1{,}350$ $B_n = 0{,}852$ $A_n - B_n = 0{,}498$				$A_n = 1{,}339$ $B_n = 0{,}845$ $A_n - B_n = 0{,}494$				$A_n = 1{,}330$ $B_n = 0{,}838$ $A_n - B_n = 0{,}492$			

$\lambda = 340{,}36$ $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 346{,}70$ $n_0 = 1{,}34970$				$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00844	1,224	1,224	± 0	0,00835	1,211	1,212	+ 1	0,00820	1,191	1,192	+ 1
0,01670	1,212	1,212	± 0	0,01655	1,202	1,200	— 2	0,01623	1,181	1,179	— 2
0,03278	1,195	1,195	± 0	0,03244	1,184	1,183	— 1	0,03183	1,163	1,163	± 0
0,06356	1,156	1,157	+ 1	0,06290	1,144	1,145	+ 1	0,06170	1,124	1,125	+ 1
$A_n = 1{,}321$ $B_n = 0{,}830$ $A_n - B_n = 0{,}491$				$A_n = 1{,}309$ $B_n = 0{,}818$ $A_n - B_n = 0{,}491$				$A_n = 1{,}288$ $B_n = 0{,}800$ $A_n - B_n = 0{,}488$			

$\lambda = 441{,}59$ $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 467{,}83$ $n_0 = 1{,}33831$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,00773	1,129	1,131	+ 2	0,00766	1,120	1,120	± 0	0,00753	1,105	1,102	— 3
0,01530	1,119	1,119	± 0	0,01512	1,108	1,108	± 0	0,01483	1,088	1,090	+ 2
0,03002	1,103	1,102	— 1	0,02967	1,092	1,091	— 1	0,02915	1,074	1,073	— 1
0,05805	1,064	1,065	+ 1	0,05733	1,052	1,054	+ 2	0,05631	1,035	1,036	+ 1
$A_n = 1{,}226$ $B_n = 0{,}744$ $A_n - B_n = 0{,}482$				$A_n = 1{,}215$ $B_n = 0{,}734$ $A_n - B_n = 0{,}481$				$A_n = 1{,}197$ $B_n = 0{,}715$ $A_n - B_n = 0{,}482$			

Konstanten de	
$s\frac{18}{18}$	r
1,05937	0,4
1,11721	0,9
1,23148	1,9
1,45798	3,8

$\lambda = 36$	
$n_0 = 1,3$	
$n - n_0$	beob.
0,01299	1,958
0,02549	1,940
0,05009	1,922
0,09765	1,870

$A_n = 2,074$
$B_n = 1,437$ A_n

Tabelle 7. **Li J** (133,92)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 274{,}87$, $n_0 = 1{,}36654$				$\lambda = 288{,}11$, $n_0 = 1{,}3626$			
$S\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,05020	0,5076	0,754	0,02024	2,918	2,913	− 5	0,01763	2,548	2,546	− 2
1,09569	0,9705	0,697	0,03842	2,897	2,901	+ 4	0,03352	2,534	2,535	+ 1
1,19318	1,969	0,610	0,07753	2,881	2,883	+ 2	0,06756	2,517	2,520	+ 3
1,28389	2,900	0,536	0,11370	2,869	2,868	− 1	0,09918	2,509	2,506	− 3
			$\frac{A_n = 2{,}965}{B_n = 2{,}755}$ $A_n - B_n = 0{,}210$				$\frac{A_n = 2{,}590}{B_n = 2{,}410}$ $A_n - B_n = 0{,}180$			

$\lambda = 298{,}11$, $n_0 = 1{,}3598$				$\lambda = 340{,}36$, $n_0 = 1{,}35062$				$\lambda = 346{,}70$, $n_0 = 1{,}34970$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,01634	2,367	2,363	− 4	0,01351	1.971	1,969	− 2	0,01331	1,943	1,940	− 3
0,03102	2,350	2,353	+ 3	0,02569	1,960	1,962	+ 2	0,02529	1,931	1,933	+ 2
0,06253	2,335	2,338	+ 3	0,05180	1,948	1,950	+ 2	0,05117	1,925	1,922	− 3
0,09182	2,328	2,326	− 2	0,07615	1,944	1,941	− 3	0,07511	1,919	1,923	+ 4
$\frac{A_n = 2{,}404}{B_n = 2{,}236}$ $A_n - B_n = 0{,}168$				$\frac{A_n = 2{,}001}{B_n = 1{,}871}$ $A_n - B_n = 0{,}130$				$\frac{A_n = 1{,}971}{B_n = 1{,}846}$ $A_n - B_n = 0{,}125$			

$\lambda = 361{,}19$, $n_0 = 1{,}34754$				$\lambda = 441{,}59$, $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 467{,}83$, $n_0 = 1{,}33831$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,01293	1,881	1,877	− 4	0,01150	1,691	1,688	− 3	0,01124	1,655	1,657	+ 2
0,02440	1,866	1,870	+ 4	0,02185	1,680	1,682	+ 2	0,02148	1,654	1,651	− 3
0,04935	1,860	1,859	− 1	0,04405	1,670	1,672	+ 2	0,04324	1,641	1,642	+ 1
0,07222	1,848	1,850	+ 2	0,06470	1,665	1,664	− 1	0,06342	1,634	1,634	± 0
$\frac{A_n = 1{,}907}{B_n = 1{,}784}$ $A_n - B_n = 0{,}123$				$\frac{A_n = 1{,}715}{B_n = 1{,}606}$ $A_n - B_n = 0{,}109$				$\frac{A_n = 1{,}683}{B_n = 1{,}577}$ $A_n - B_n = 0{,}106$			

$\lambda = 480{,}01$, $n_0 = 1{,}33766$				$\lambda = 508{,}60$, $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,01111	1,636	1,637	+ 1	0,01091	1,609	1,611	+ 2
0,02120	1 633	1,631	− 2	0,02083	1,606	1,605	− 1
0,04275	1,623	1,622	− 1	0,04204	1,598	1,597	− 1
0,06253	1,612	1,614	+ 2	0,06154	1,588	1,589	+ 1
$\frac{A_n = 1{,}663}{B_n = 1{,}558}$ $A_n - B_n = 0{,}105$				$\frac{A_n = 1{,}636}{B_n = 1{,}535}$ $A_n - B_n = 0{,}101$			

Tabelle 8. **KJ** (166,02)

Konstanten der Lösungen			$\lambda = 274{,}87$ $n_0 = 1{,}36654$				$\lambda = 288{,}11$ $n_0 = 1{,}3626$				$\lambda = 340{,}36$ $n_0 = 1{,}35062$			
$s\frac{18}{18}$	m	i	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
1,05937	0,4922	0,811	0,02126	3,161	3,158	— 3	0,01816	2,707	2,707	± 0	0,01364	2,052	2,049	— 3
1,11721	0,9752	0,791	0,04173	3,131	3,133	+ 2	0,03569	2,685	2,687	+ 2	0,02679	2,034	2,036	+ 2
1,23148	1,934	0,761	0,08178	3,094	3,096	+ 2	0,07001	2,656	2,657	+ 1	0,05266	2,016	2,017	+ 1
1,45798	3,878	0,674	0,15864	2,994	2,993	— 1	0,13613	2,576	2,575	— 1	0,10287	1,964	1,963	— 1
			$A_n = 3{,}391$ $B_n = 2{,}156$ $A_n - B_n = 1{,}235$				$A_n = 2{,}895$ $B_n = 1{,}900$ $A_n - B_n = 0{,}995$				$A_n = 2{,}172$ $B_n = 1{,}522$ $A_n - B_n = 0{,}650$			

$\lambda = 361{,}19$ $n_0 = 1{,}34754$				$\lambda = 441{,}59$ $n_0 = 1{,}33997$				$\lambda = 480{,}01$ $n_0 = 1{,}33766$				$\lambda = 508{,}60$ $n_0 = 1{,}33633$			
$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.	$n - n_0$	Δ_n beob.	Δ_n ber.	ber. — beob.
0,01299	1,958	1,955	— 3	0,01151	1,745	1,743	— 2	0,01114	1,692	1,692	± 0	0,01093	1,662	1,662	± 0
0,02549	1,940	1,941	+ 1	0,02262	1,731	1,733	+ 2	0,02193	1,681	1,681	± 0	0,02151	1,651	1,651	± 0
0,05009	1,922	1,922	± 0	0,04448	1,716	1,717	+ 1	0,04306	1,665	1,665	± 0	0,04227	1,636	1,636	± 0
0,09765	1,870	1.869	— 1	0,08693	1,673	1,672	— 1	0,08409	1,621	1,621	± 0	0,08253	1,593	1,594	+ 1
$A_n = 2{,}074$ $B_n = 1{,}437$ $A_n - B_n = 0{,}637$				$A_n = 1{,}844$ $B_n = 1{,}311$ $A_n - B_n = 0{,}533$				$A_n = 1{,}793$ $B_n = 1{,}259$ $A_n - B_n = 0{,}534$				$A_n = 1{,}758$ $B_n = 1{,}248$ $A_n - B_n = 0{,}510$			

Tabelle 9. Chloride.

$\left(\frac{\lambda_a}{n_0}\right)^2 = 11788$ $\quad M_a = 123{,}47$

λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$An' \cdot 10^2$			$(An' - a) \cdot 10^2$			$\frac{Ma}{\lambda^2 - \lambda_a{}^2} \cdot 10^2$			Li Cl			Na Cl			Cs Cl		
		Li Cl	Na Cl	Cs Cl	Li Cl	Na Cl	Cs Cl	beob. (Mittel)	ber.	ber. — beob.	An beob.	An ber.	ber. — beob.	An beob.	An ber.	ber. — beob.	An beob.	An ber.	ber. — beob.
214,45	23326	2,4164	—	—	1,0761	—	—	1,0761	1,0702	— 5,9	1,201	1,198	— 3	—	—	—	—	—	—
219,47	24611	2,3051	—	—	0,9648	—	—	0 9648	0,9629	— 1,9	1,146	1,145	— 1	—	—	—	—	—	—
226,51	26452	2,1798	—	—	0,8395	—	—	0,8395	0,8420	+ 2,5	1,084	1,085	+ 1	—	—	—	—	—	—
228,81	27064	2,1474	—	—	0,8071	—	—	0.8071	0,8083	+ 1,2	1,068	1,069	+ 1	—	—	—	—	—	—
231,29	27729	2,1090	2,3233	—	0,7687	0,7694	—	0,7691	0,7745	+ 5,4	1,049	1,052	+ 3	1,155	1,157	+ 2	—	—	—
257,32	35093	1,8646	2,0827	2,6169	0,5243	0,5288	0,5305	0,5279	0,5298	+ 1,9	0,928	0,931	+ 3	1,036	1,036	± 0	1,300	1,300	± 0
274,87	40457	1,7657	1,9858	2,5156	0,4254	0,4319	0,4292	0,4288	0,4307	+ 1,9	0,879	0,882	+ 3	0,988	0,987	— 1	1,250	1,251	+ 1
288,11	44707	1,7173	1,9312	2,4589	0,3770	0,3774	0,3725	0,3756	0,3751	— 0,5	0,852	0,853	+ 1	0,961	0,960	— 1	1,222	1,223	+ 1
298,11	48062	1,6810	1,9010	2,4245	0,3407	0,3471	0,3381	0,3420	0,3413	— 0,7	0,837	0,837	± 0	0,946	0,943	— 3	1,205	1,206	+ 1
308,10	51520	1,6487	1,8626	2,3948	0,3084	0,3087	0,3084	0,3085	0,3108	— 1,9	0,821	0,822	+ 1	0,927	0,928	+ 1	1,190	1,191	+ 1
313,30	53366	1,6387	1,8525	2,3840	0,2984	0,2986	0,2976	0,2982	0,2970	— 1,2	0,816	0,815	— 1	0,922	0,921	— 1	1,185	1,185	± 0
325,50	57831	1,6104	1,8183	2,3557	0,2701	0,2644	0,2693	0 2679	0,2682	+ 0,3	0,802	0,801	— 1	0,905	0,907	+ 2	1,171	1,170	— 1
340,36	63504	1,5843	1,7879	2,3275	0,2440	0,2340	0,2411	0,2397	0,2387	— 1,0	0,789	0,786	— 3	0,890	0,892	+ 2	1,157	1,156	— 1
346,70	65984	1,5721	1,7799	2,3153	0,2318	0,2260	0,2289	0,2289	0,2278	— 1,1	0,783	0,781	— 2	0,886	0,887	+ 1	1,151	1,150	— 1
361,19	71845	1,5500	1,7556	2,2890	0,2097	0,2017	0,2026	0,2047	0,2056	+ 0,9	0,772	0,770	— 2	0,874	0,876	+ 2	1,138	1,139	+ 1
508,60	144849	—	1,6568	2,1696	—	0,1029	0,0832	0,0931	0,0928	— 0,3	—	0,714	—	0,825	0,820	— 5	1,079	1,084	+ 5
434,07	104853	Hγ							0,1327	—		0,734	—		0,840	—		1,104	—
486,14	132169	Hβ							0,1026	—		0,719	—		0,825	—		1,089	—
589,31	195399	D							0,0672	—		0,701	—		0,807	—		1,071	—
656,29	243049	Hα							0,0534	—		0,694	—		0,800	—		1,064	—

$a \cdot 10^2 = 1{,}3403$ für Li Cl $\quad \lambda_a = 165{,}0$

$\quad\quad = 1{,}5539$ „ Na Cl $\quad p \cdot \frac{e}{m} = 2{,}897 \cdot 10^7$

$\quad\quad = 2{,}0864$ „ Cs Cl

Tabelle 10. Lithiumchlorid. Natriumchlorid. Cäsiumchlorid.

		$\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 10113$ $\lambda_b = 157{,}7$ $M_b = 111{,}14$ $p \cdot \frac{e}{m} = 3{,}542 \cdot 10^7$ $b \cdot 10^2 = 1{,}0494$						$\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 14135$ $\lambda_b = 175{,}5$ $M_b = 83{,}80$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}367 \cdot 10^7$ $b \cdot 10^2 = 1{,}0449$						$\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 7140$ $\lambda_b = 145{,}5$ $M_b = 140{,}85$ $p \cdot \frac{e}{m} = 9{,}007 \cdot 10^7$ $b \cdot 10^2 = 1{,}0158$					
λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$Bn' \cdot 10^2$		ber. — beob.	Bn		ber. — beob.	$Bn' \cdot 10^2$		ber. — beob.	Bn		ber. — beob.	$Bn' \cdot 10^2$		ber. — beob.	Bn		ber. — beob.
		beob.	ber.		beob.	ber.		beob.	ber.		beob.	ber.		beob.	ber.		beob.	ber.	
214,45	23326	1,9050	1,8905	— 14,5	0,948	0,941	— 7	—	1,9577	—	—	0,974	—	—	1,8860	—	—	0,939	—
219,47	24611	1,8142	1,8160	+ 1,8	0,903	0,904	+ 1	—	1,8448	—	—	0,918	—	—	1,8220	—	—	0,907	—
226,51	26452	1,7274	1,7296	+ 2,2	0,860	0,861	+ 1	—	1,7253	—	—	0,858	—	—	1,7451	—	—	0,869	—
228,81	27064	1,6992	1,7051	+ 5,9	0,846	0,849	+ 3	—	1,6931	—	—	0,843	—	—	1,7227	—	—	0,858	—
231,29	27729	1,6689	1,6803	+ 11,3	0,831	0,837	+ 6	1,6568	1,6613	+ 4,5	0,825	0,827	+ 2	—	1,6999	—	—	0,846	—
257,32	35093	1,4935	1,4943	+ 0,8	0,744	0,744	± 0	1,4492	1,4447	— 4,5	0,722	0,720	— 2	1,5197	1,5197	± 0	0,757	0,757	± 0
274,87	40457	1,4210	1,4157	— 5,3	0,708	0,705	— 3	1,3626	1,3633	+ 0,7	0,679	0,679	± 0	1,4351	1,4386	+ 3,5	0,715	0,717	+ 2
288,11	44707	1,3727	1,3707	— 2,0	0,684	0,683	— 1	1,3163	1,3190	+ 2,7	0,656	0,657	+ 1	1,3888	1,3907	+ 1,9	0,692	0,693	+ 1
298,11	48062	1,3445	1,3423	— 2,2	0,670	0,669	— 1	1,2962	1,2919	— 4,3	0,646	0,644	— 2	1,3606	1,3600	— 0,6	0,678	0,678	± 0
308,10	51520	1,3163	1,3178	+ 1,5	0,656	0,657	+ 1	1,2660	1,2691	+ 3,1	0,631	0,633	+ 2	1,3324	1,3332	+ 0,8	0,664	0,664	± 0
313,30	53366	1,3083	1,3064	— 1,9	0,652	0,651	— 1	1,2599	1,2585	— 1,4	0,628	0,627	— 1	1,3244	1,3205	— 3,9	0,660	0,658	— 2
325,50	57831	1,2821	1,2823	+ 0,2	0,639	0,639	± 0	1,2338	1,2367	+ 2,9	0,615	0,616	+ 1	1,2962	1,2937	— 2,5	0,646	0,645	— 1
340,36	63504	1,2579	1,2576	— 0,3	0,627	0,627	± 0	1,2116	1,2146	+ 3,0	0,604	0,605	+ 1	1,2680	1,2657	— 2,3	0,632	0,631	— 1
346,70	65984	1,2479	1,2483	+ 0,4	0,622	0,622	± 0	1,2076	1,2065	— 1,1	0,602	0,601	— 1	1,2579	1,2552	— 2,7	0,627	0,626	— 1
361,19	71845	1,2277	1,2294	+ 1,7	0,612	0,613	+ 1	1,1875	1,1901	+ 2,6	0,592	0,593	+ 1	1,2318	1,2335	+ 1,7	0,614	0,615	+ 1
508,60	144849	—	1,1319	—	—	0,564	—	1,1171	1,1090	— 8,1	0,557	0,553	— 4	1,1151	1,1181	+ 3,0	0,556	0,557	+ 1
434,07	104853	Hγ	—	1,1667	—	—	0,582	—	—	1,1373	—	—	0,567	—	—	1,1599	—	—	0,578	—
486,14	132169	Hβ	—	1,1405	—	—	0,569	—	—	1,1159	—	—	0,556	—	—	1,1285	—	—	0,563	—
589,31	195399	D	—	1,1094	—	—	0,553	—	—	1,0911	—	—	0,544	—	—	1,0906	—	—	0,544	—
656,29	243049	Hα	—	1,0971	—	—	0,547	—	—	1,0815	—	—	0,539	—	—	1,0755	—	—	0,536	—

Tabelle 11. Bromide.

$\left(\frac{\lambda_a}{n_0}\right)^2 = 16510$ $\quad M_a = 208{,}09$

λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$An' \cdot 10^2$		$(An' - a) \cdot 10^2$		$\frac{Ma}{\lambda^2 - \lambda_a{}^2} \cdot 10^2$			Li Br			Rb Br.		
		Li Br	Rb Br	Li Br	Rb Br	beob. (Mittel)	ber.	ber. — beob.	An beob.	An ber.	ber. — beob	An beob.	An ber.	ber. — beob.
251,60	33405	3,0793	3,4777	1,2350	1,2566	1,2458	1,2317	— 14,1	1,528	1,526	— 2	1,724	1,712	— 12
255,80	34629	2,9677	3,3720	1,1234	1,1509	1,1372	1,1485	+ 11,3	1,473	1,485	+ 12	1,672	1,671	— 1
257,32	35093	2,9433	3,3435	1,0990	1,1224	1,1107	1,1198	+ 9,1	1,461	1,471	+ 10	1,658	1,657	— 1
274,87	40457	2,7121	3,1017	0,8678	0,8806	0,8742	0,8690	— 5,2	1,347	1,348	+ 1	1,539	1,533	— 6
277,10	41170	2,6817	3,0753	0,8374	0,8542	0,8458	0,8438	— 2.0	1,332	1,335	+ 3	1,526	1,521	— 5
280,10	42132	2,6513	3,0367	0,8070	0 8156	0,8113	0,8122	+ 0,9	1,317	1,320	+ 3	1,507	1,505	— 2
288,11	44707	2,5845	2,9677	0,7402	0,7466	0,7434	0,7380	— 5,4	1,284	1,283	— 1	1,473	1,469	— 4
298,11	48062	2,5055	2,8764	0,6612	0,6553	0,6583	0,6595	+ 1,2	1,245	1,244	— 1	1,428	1,430	+ 2
301,85	49342	2,4832	2,8521	0,6389	0.6310	0.6349	0,6338	— 1,1	1,234	1,231	— 3	1,416	1,417	+ 1
307,60	51352	2,4468	2,8095	0,6025	0,5884	0,5955	0,5972	+ 1,7	1,216	1,213	— 3	1,395	1,399	+ 4
308,10	51520	2,4407	2,8034	0,5964	0,5823	0,5894	0,5944	+ 5,0	1,213	1,212	— 1	1,392	1,398	+ 6
313,30	53366	2,4184	2,7811	0,5741	0,5600	0,5670	0,5646	— 2,4	1,202	1,197	— 5	1,381	1,383	+ 2
325,50	57831	2,3557	2,7182	0,5114	0,4971	0,5042	0,5036	— 0,6	1,171	1.167	— 4	1,350	1,353	+ 3
330,30	59682	2,3335	2,6959	0,4892	0,4748	0,4820	0,4820	± 0	1,160	1,156	— 4	1,339	1,343	+ 4
334,56	61261	2,3132	2,6777	0,4689	0,4566	0,4628	0,4650	+ 2,2	1,150	1,148	— 2	1,330	1,334	+ 4
340,36	63504	2,2950	2,6595	0,4507	0,4384	0,4445	0,4428	— 1,7	1,141	1,137	— 4	1,321	1,323	+ 2
346,70	65984	2,2667	2,6351	0,4224	0,4140	0,4182	0,4206	+ 2,4	1,127	1,126	— 1	1,309	1,312	+ 3
361,19	71845	2,2283	2,5926	0,3840	0,3715	0,3777	0,3761	— 1,6	1,108	1,104	— 4	1,288	1,290	+ 2
441,59	108603	2,1029	2,4670	0,2586	0,2459	0,2522	0,2260	— 26,2	1,046	1,030	— 16	1,226	1,216	— 10
467,83	122199	2,0747	2,4448	0,2304	0,2237	0,2270	0,1969	— 30,1	1,032	1,015	— 17	1,215	1,202	— 13
508,60	144849	2,0544	2,4083	0,2101	0,1872	0,1986	0,1621	— 36,5	1,022	0,098	— 24	1,197	1,184	— 13
434,07	104853	Hγ					0,2355	—	1,035	—		1,221	—	
486,14	132169	Hβ	$a \cdot 10^2 = 1{,}8443$ für Li Br			$\lambda_a = 185{,}9$	0,1799	—	1,007	—		1,193	—	
589,31	195399	D	,, $= 2{,}2211$,, Rb Br			$p \cdot \frac{e}{m} = 2{,}489 \cdot 10^7$	0,1163	—	0,985	—		1,162	—	
656,29	243049	Hα					0,0919	—	0,963	—		1,150	—	

Tabelle 12. Lithiumbromid.

$\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 16972$ $\quad \lambda_b = 187{,}9$

$M_b = 174{,}00$ $\quad p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}969 \cdot 10^7$

$b \cdot 10^2 = 1{,}6090$

λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$B_n' \cdot 10^2$		ber. — beob.	B_n		ber. — beob.
		beob.	ber.		beob.	ber.	
251,60	33405	2,6858	2,6678	— 18,0	1,334	1,325	— 9
255,80	34629	2,5885	2,5944	+ 5,9	1,286	1,289	+ 3
257,32	35093	2,5642	2,5692	+ 5,0	1,274	1,276	+ 2
274,87	40457	2,3456	2,3499	+ 4,3	1,166	1,668	+ 2
277,10	41170	2,3213	2,3281	+ 6,8	1,154	1,157	+ 3
280,10	42132	2,2950	2,3006	+ 5,6	1,141	1,144	+ 3
288,11	44707	2,2364	2,2364	± 0	1,112	1,112	± 0
298,11	48062	2,1696	2,1687	— 0,9	1,079	1,079	± 0
301,85	49342	2,1514	2,1465	— 4,9	1,070	1,068	— 2
307,60	51352	2,1151	2,1151	± 0	1,052	1,052	± 0
308,10	51520	2,1130	2,1126	— 0,4	1,051	1,051	± 0
313,30	53366	2,0908	2,0871	— 3,7	1,040	1,038	— 2
325,50	57831	2,0342	2,0349	+ 0,7	1,012	1,012	± 0
330,30	59682	2,0201	2,0164	— 3,7	1,005	1,003	— 2
334,56	61261	2,0019	2,0019	± 0	0,996	0,996	± 0
340,36	63504	1,9837	1,9829	— 0,8	0,987	0,987	± 0
346,70	65984	1,9635	1,9640	+ 0,5	0,977	0,977	± 0
361,19	71845	1,9232	1,9261	+ 2,9	0,957	0,956	+ 1
441,59	108603	1,8041	1,7989	— 5,2	0,898	0,895	— 3
467,83	122199	1,7778	1,7744	— 3,4	0,885	0,883	— 2
508,60	144849	1,7597	1,7451	— 14,6	0,876	0,869	— 7
434,07	104853	Hγ	—	1,8070	—	—	0,900	—
486,14	132169	Hβ	—	1,7600	—	—	0,876	—
589,31	195399	D	—	1,7065	—	—	0,850	—
656,29	243049	Hα	—	1,6860	—	—	0,839	—

Tabelle 13. **Rubidiumbromid.**

$\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 16318$ $\lambda_b = 185{,}1$

$M_b = 144{,}68$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}771 \cdot 10^7$

$b \cdot 10^2 = 1{,}3573$

λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$B_n' \cdot 10^2$		ber. — beob.	B_n		ber. — beob.
		beob.	ber.		beob.	ber.	
251,60	33405	2,2404	2,2040	— 36,4	1,114	1,096	— 18
255,80	34629	2,1514	2,1474	— 4,0	1,070	1,068	— 2
257,32	35093	2,1333	2,1279	— 5,4	1,061	1,058	— 3
274,87	40457	1,9211	1,9567	+ 35,6	0,956	0,974	+ 18
277,10	41170	1,9070	1,9395	+ 32,5	0,949	0,965	+ 16
280,10	42132	1,9009	1,9178	+ 16,9	0,946	0,954	+ 8
288 11	44707	1,8485	1,8667	+ 18,2	0,920	0,929	+ 9
298,11	48062	1,8202	1,8131	— 7,1	0,906	0,902	— 4
301,85	49342	1,8041	1,7954	— 8,7	0,898	0,894	— 4
307,60	51352	1,7879	1,7703	— 17,6	0,890	0,881	— 9
308,10	51520	1,7817	1,7683	— 13,4	0,887	0,880	— 7
313,30	53366	1,7577	1,7478	— 9,9	0,875	0,870	— 5
325,50	57831	1,7113	1,7058	— 5,5	0,852	0,849	— 3
330,30	59682	1,6971	1,6909	— 6,2	0,845	0,842	— 3
334,56	61261	1,6830	1,6792	— 3,8	0,838	0,836	— 2
340,36	63504	1,6668	1,6639	— 2,9	0,830	0,829	— 1
346,70	65984	1,6427	1,6486	+ 5,9	0,818	0,821	+ 3
361,19	71845	1,6064	1,6179	+ 11,5	0,800	0,805	+ 5
441,59	108603	1,4935	1,5141	+ 20,6	0,744	0,754	+ 10
467,83	122199	1,4734	1,4939	+ 20,5	0,734	0,744	+ 10
508,60	144849	1,4351	1,4699	+ 34,8	0,715	0,732	+ 17
434,07	104853	Hγ	— 1,5207	—	—	0,758	--
486,14	132169	Hβ	— 1,4822	—	—	0,748	—
589,31	195399	D	— 1,4381	—	—	0,717	—
656,29	243049	Hα	-- 1,4207	—	—	0,708	—

Tabelle 14. **Lithiumjodid.**

		$a \cdot 10^2 = 2{,}9756$ $\left(\frac{\lambda_a}{n_o}\right)^2 = 27729$ $M_a = 385{,}65$ $\lambda_a = 231{,}3$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}635 \cdot 10^7$						$b \cdot 10^2 = 2{,}7921$ $\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 27628$ $M_b = 356{,}66$ $\lambda_b = 230{,}9$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}523 \cdot 10^7$					
λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$An' \cdot 10^2$		ber. —	An		ber. —	$Bn' \cdot 10^2$		ber. —	Bn		ber. —
		beob.	ber.	beob.	beob.	ber.	beob.	beob.	ber.	beob.	beob.	ber.	beob.
274,87	40457	6,0179	6,0055	− 12,4	2,965	2,959	− 6	5,5859	5,5722	− 13,7	2,755	2,748	− 7
288,11	44707	5,2471	5,2471	± 0	2,590	2,590	± 0	4,8781	4,8804	+ 2,3	2,410	2,411	+ 1
298,11	48062	4,8658	4,8723	+ 6,5	2,404	2,407	+ 3	4,5220	4,5374	+ 15,4	2,236	2,244	+ 8
340,36	63504	4,0420	4,0536	+ 11,6	2,001	2,007	+ 6	3,7770	3,7862	+ 9,2	1,871	1,876	+ 5
346,70	65984	3,9808	3,9837	+ 2,9	1,971	1,972	+ 1	3,7261	3,7220	− 4,1	1,846	1,844	− 2
361,19	71845	3,8504	3,8498	+ 0,6	1,907	1,907	± 0	3,5998	3,5987	− 1,1	1.784	1,783	− 1
441,59	108603	3,4594	3,4525	− 6,9	1,715	1,712	− 3	3,2378	3,2326	− 5,2	1,606	1,603	− 3
467,83	122199	3,3943	3,3838	− 10,5	1,683	1,678	− 5	3,1789	3,1692	− 9,7	1,577	1,572	− 5
480,01	128766	3,3537	3,3573	+ 3,6	1,663	1,665	+ 2	3,1403	3,1447	+ 4,4	1,558	1,560	+ 2
508,60	144849	3,2988	3,3049	+ 6,1	1,636	1,639	+ 3	3,0936	3,0964	+ 2,8	1,535	1,536	+ 1
434,07	104853	Hγ	—	3,4756	—	—	1,723	—	—	3,2539	—	—	1,614	—
486,14	132169	Hβ	—	3,3449	—	—	1,659	—	—	3,1333	—	—	1,554	—
589,31	195399	D	—	3,2056	—	—	1,590	—	—	3,0047	—	—	1,491	—
656,29	243049	Hα	—	3,1547	—	—	1,565	—	—	2,9577	—	—	1,468	—

Tabelle 15. **Kaliumjodid.**

	$a \cdot 10^2 = 3{,}1833$ $\left(\frac{\lambda_a}{n_o}\right)^2 = 28872$ $M_a = 427{,}77$ $\lambda_a = 235{,}7$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}673 \cdot 10^7$				$b \cdot 10^2 = 2{,}2561$ $\left(\frac{\lambda_b}{n_o}\right)^2 = 26056$ $M_b = 299{,}64$ $\lambda_b = 225{,}0$ $p \cdot \frac{e}{m} = 1{,}439 \cdot 10^7$						
λ	$\left(\frac{\lambda}{n_0}\right)^2$	$An' \cdot 10^2$		ber. —	An		ber. —	$Bn' \cdot 10^2$		ber. —	Bn		ber. —
		beob.	ber.	beob.	beob.	ber.	beob	beob.	ber.	beob.	beob.	ber.	beob.
274,87	40457	6,8970	6,8757	— 21,3	3,391	3,380	— 11	4,3585	4,3368	— 21,7	2,156	2,145	— 11
288,11	44707	5,8738	5,8847	+ 10,9	2,895	2,900	+ 5	3,8361	3,8627	+ 26,6	1,900	1,913	+ 13
340,36	63504	4,3912	4,4185	+ 27,3	2,172	2,186	+ 14	3,0672	3,0562	— 11,0	1,522	1,517	— 5
361,19	71845	4,1910	4,1787	— 12,3	2,074	2,068	— 6	2,8946	2,9105	+ 15,9	1,437	1,445	+ 8
441,59	108603	3,7220	3,7198	— 2,2	1,844	1,843	— 1	2.6392	2,6191	— 20,1	1,311	1,301	— 10
480,01	128766	3,6181	3,6115	— 6,6	1,793	1,790	— 3	2,5339	2,5478	+ 13,9	1,259	1,266	+ 7
508,60	144849	3,5469	3,5521	+ 5,2	1,758	1,761	+ 3	2,5116	2,5083	— 3,3	1,248	1,246	— 2
434,07	104853	Hγ	—	3,7463	—	—	1,856	—	—	2,6364	—	—	1,310	—
486,14	132169	Hβ	—	3,5974	—	—	1,783	—	—	2,5385	—	—	1.261	—
589,31	195399	D	—	3,4402	—	—	1,705	—	—	2,4330	—	—	1,209	—
656,29	243049	Hα	—	3,3830	—	—	1,677	—	—	2,3942	—	—	1,190	—

[Aus dem physikalischen Institut der Universität Rostock.]

Einige optische Ionenkonstanten.

Von

Adolf Heydweiller-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 7. Januar 1913.

In Anschluss an verschiedene vorhergehende Mitteilungen in diesen Berichten von meinen Schülern und mir, die Ioneneigenschaften im Wasser betreffend[1]), gebe ich im folgenden noch die Zahlenwerte für einige grundlegende optische Konstanten der Ionen, die sich aus den bereits veröffentlichten Beobachtungen ableiten lassen, nämlich für die Refraktionsäquivalente, die zugleich die wirkliche Raumerfüllung und somit die Grösse der Ionen angeben.

Ich schliesse daran eine Erörterung über die Möglichkeit, aus Dispersionsbestimmungen im sichtbaren Spektrum die ultravioletten Eigenschwingungen der Anionen zu ermitteln, durch welche die relative Dispersion der Lösungen gegen Wasser im Sichtbaren und Ultravioletten wesentlich bestimmt wird.

1. Die Refraktionsäquivalente der Ionen im Wasser und die Grösse der Ionen.

Wir bezeichnen mit s und n Dichte und Brechungsexponenten (für Na-Licht) und gehen aus von der Lorenz-Lorentz'schen Form für die sog. Refraktion:

$$R = \frac{1}{s}\,\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2},$$

[1]) E. Rubien, Diese Ber. **3**, 397, 1911.
K. Grufki, „ „ **4**, 13, 1912.
A. Heydweiller, „ „ **4**, 21, 1912.
K. Lübben, „ „ **5**, 1913.

welche theoretisch die wahre Raumerfüllung der Masseneinheit darstellt, unter der Voraussetzung, dass die kleinsten im Aether eingebetteten Teile des betr. Mediums kugelförmig sind. Diese Bedingung ist jedenfalls am nächsten erfüllt für einatomige Moleküle, also für die einatomigen Gase und für einen aus einatomigen Ionen bestehenden Körper.

Nach dem ebenfalls von Lorenz und Lorentz aufgestellten Gesetze der Additivität der Refraktionen für Mischungen und Lösungen ist für die Refraktion eines Liters einer Normallösung von der Masse 1000 s:

$$\frac{1000\,s}{s}\,\frac{n^2-1}{n^2+2} = \frac{1000\,s-M}{s_0}\,\frac{n_0^2-1}{n_0^2+2} + \frac{M}{s_1}\,\frac{n_1^2-1}{n_1^2+2}\,^{1}),$$

wobei der Index 0 auf das Lösungsmittel, der Index 1 auf den gelösten Körper vom Aequivalentgewicht M bezogen ist.

Danach ergibt sich das Refraktionsäquivalent des gelösten Körpers, berechenbar aus den beobachteten Werten für Dichte und Lichtbrechung, s und n, s_0 und n_0, für Lösung und Lösungsmittel:

$$R_1 = \frac{M}{s_1}\,\frac{n_1^2-1}{n_2^2+2} = 1000\,\frac{n^2-1}{n^2+2} - \frac{1000\,s-M}{s_0}\,\frac{n_0^2-1}{n_0^2+2}.$$

Wir setzen, wie in den oben angeführten früheren Mitteilungen, die Dichte und Lichtbrechung einer wässerigen Normallösung, bezogen auf Wasser von gleicher Temperatur:

$$s = s_0\left(1+\frac{\Delta_s}{100}\right) \text{ und } n = n_0\left(1+\frac{\Delta_n}{100}\right),$$

ferner für Wasser und Natriumlicht:

$$s_0 = 1 \qquad n_0 = \frac{4}{3},$$

also

$$\frac{1}{s_0}\,\frac{n_0^2-1}{n_{02}+2} = \frac{7}{34}.$$

---

[1]) Nach Herrn O. Wiener's Erörterungen (Leipzig. Ber. **62**, 256, 1910) ist diese Beziehung allerdings nicht genau; vielmehr ist im Nenner der 3 Summanden die Zahl 2 durch drei verschiedene Konstanten zu ersetzen, die von der Form der Moleküle abhängen. Es fehlen aber vorläufig genügende Anhaltspunkte zu deren Bestimmung, und wir müssen uns daher mit obiger Annäherung begnügen.

Eine einfache Rechnung ergibt dann:

$$(1) \qquad R_1 = \frac{7}{34}\left\{36{,}30\,\Delta_n - 10\,\Delta_s + M\right\}$$

bei Vernachlässigung von $\frac{\Delta_n}{100}$ gegen 1; genauer ist anstatt Δ_n zu setzen $\Delta_n\left(1 + \frac{3}{4}\frac{\Delta_n}{100}\right)$; die Korrektion kommt für die bisher in den Messungen erreichte Genauigkeit nur in wenigen Fällen, für die grössten Werte von Δ_n, in Betracht.

Für eine normale Ionenlösung treten in der vorstehenden Formel an Stelle von Δ_n und Δ_s die aus meiner oben angeführten früheren Mitteilung zu entnehmenden Werte der Ionenmoduln für Dichte und Lichtbrechung. Die damit sich ergebenden Werte von R_1 wollen wir mit A_r bezeichnen. Es sind die Ionenmoduln der Refraktion und zugleich die wirklichen Volumina von 1 gr Ion.

Nach den Arbeiten der Herren Grufki und Lübben sind sie im sichtbaren und ultravioletten Spektralgebiet für die Kationen unabhängig von der Wellenlänge des angewandten Lichtes; nicht aber für die Anionen. Für die letzteren führen wir daher an Stelle von $\frac{n^2}{{n_0}^2}$ das in einem gewissen Spektralbereich — für Wellenlängen, die gross sind gegen die der ultravioletten und klein gegen die der ultraroten Eigenschwingungen — von der Wellenlänge kaum abhängige erste Glied a der für die Ionenlösungen gültigen Dispersionsformel

$$(2) \qquad \frac{n^2}{{n_0}^2} = a + \frac{M_a}{\lambda^2 - {\lambda_a}^2}$$

ein.

Die Messungen von Lübben liefern die Werte von a für die Anionen Cl, Br, J. Ausserdem sind sie für diese und einige weitere Anionen aus Grufki's Dispersionsmessungen im sichtbaren Spektrum zu entnehmen. Ich bevorzuge hier die letzteren Bestimmungen, die etwas abweichende Werte ergeben, weil die für kleine Wellenlängen zugeschnittenen Messungen Lübbens im Bereich der sichtbaren Wellen, die für die Festlegung von a hauptsächlich in Betracht kommen, eine geringere Genauigkeit besitzen.

Ueber die Art und Weise, wie die a-Werte aus den beobachteten Dispersionswerten Grufki's abzuleiten sind, wird im

zweiten Abschnitt näheres gesagt (vergl. S. 8). Tabelle 1 enthält die so bestimmten Werte der Refraktionsmoduln für die einatomigen Ionen, aus denen sich durch Addition die wirklichen Volumina der aus ihnen zusammengesetzten Salzmoleküle ableiten lassen, da die Refraktionsäquivalente weder durch die Auflösung, noch durch die elektrolytische Spaltung der Moleküle eine merkliche Aenderung erfahren (vergl. Rubien a. a. O., S. 425).

Tabelle 1.

Refraktionsmoduln der Ionen in ccm.

	Ar	p · 0.292	p		Ar	p · 0.292	p
H	1.48	1 46	5	Mg	2.66	2.63	9
Li	1.75	1.75	6	Zn	4.36	4.38	15
Na	2.92	2.92	10	Cu	4.46	4.38	15
K	4.38	4.38	15	Ca	4.72	4.67	16
Rb	5.70	5.84	20	Sr	5.92	5.84	20
Ag	6.68	6 71	23	Cd	6 48	6.42	22
Cs	8.24	8.18	28	Ba	8.08	8.18	28
				Pb	13.20	13.14	45
F	1.03[1])	1.17	4[1])				
Cl	6.68	6.72	23				
Br	10.18	10.22	35				
J	16.00	16.06	55				

Wie aus Spalte 3 und 4 ersichtlich ist, lassen sich auch diese Ionenmoduln, wie alle anderen, mit beträchtlicher Genauigkeit als ganze Vielfache p einer kleinsten Zahl, 0.292, darstellen; die Abweichungen der Produkte p · 0.292 von den aus den Beobachtungen abgeleiteten Werten von A_r bleiben meist unter 1 % der letzteren; wo jene grösser werden, sind auch diese noch weniger sicher; das gilt besonders von dem Wert von F, wo der Unterschied zwischen 36,3 $A_n + M$ und 10 A_s so klein ist, dass die Bestimmungsfehler in A_n und A_s, die nur aus 2 Salzen hergeleitet sind, sehr gross werden.

Wir dürfen daher das Volumen 0.292 ccm als ein für die gr-Ionen charakteristisches Einheitsvolumen ansehen. Für Wasserstoff ist wegen $M = 1$ sehr nahe A_r das wirkliche spez. Volumen, aus dem sich das wahre Ionenvolum des H durch Multi-

[1]) Unsicher.

plikation mit der Masse eines Wasserstoffatoms $1.6 \cdot 10^{-24}$ gr zu $5 \cdot 1.6 \cdot 0.292 \cdot 10^{-24} = \mathbf{2.37 \cdot 10^{-24}}$ **ccm** ergibt. Der fünfte Teil davon oder $\mathbf{0.467 \cdot 10^{-24}}$ **ccm** ist das elementare Einheitsvolum der Ionen, aus dem durch Multiplikation mit den ganzen Zahlen p der Tabelle 1 die wirklichen Volumina der Ionen abzuleiten sind.

Unter Annahme der Kugelform wäre der Durchmesser des Elementarvolumens

$$d = 2\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}\, 0.467 \cdot 10^{-24}} = \mathbf{0.963 \cdot 10^{-8}}\ \mathbf{cm}.$$

Multiplikation dieser Zahl mit $\sqrt[3]{p}$ liefert die in der folgenden Tabelle 2 enthaltenen Ionendurchmesser.

Tabelle 2.

Ionendurchmesser in 10^{-8} cm.

H	Li	Na	K	Rb	Ag	Cs
1.65	1.75	2.07	2.37	2.61	2.74	2.92

Mg	Zn	Cu	Ca	Sr	Cd	Ba	Pb
2.00	2.37	2.37	2.43	2.61	2.70	2.92	3.42

F	Cl	Br	J
1.53	2.74	3.15	3.66

Diese Zahlen stimmen befriedigend überein mit den aus ganz anderen Zusammenhängen und anderen Beobachtungsgrundlagen abgeleiteten Werten derselben Grössen.

So folgt aus den von Herrn Sutherland[1]) und von Herrn Millikan[2]) ausgeführten Berechnungen, wenn man den Molekül-durchmesser $= \sqrt[3]{2} \cdot$ Atomdurchmesser setzt, der letztere für

H	Cl	
1.44	$2.48 \cdot 10^{-8}$ cm	nach S.
1.81	$2.40 \cdot 10^{-8}$ „	„ M.

Wie man aus Tab. 1 ersieht, ist für die Kationen mit nahe gleichem Atomgewicht das wirkliche Ionenvolumen nahe gleich, und im allgemeinen ist das letztere eine mit zunehmendem Atomgewicht

[1]) W. Sutherland, Phil. Mag. (6) **17**, 321, 1909.
[2]) R. A. Millikan, Phys. Rev. **32**, 397, 1911.

wachsende Funktion des ersteren und nicht, wie das gewöhnliche Atomvolumen (gleich Atomgewicht durch Dichte des festen Elements) eine periodische Funktion.

Eine graphische Darstellung und die folgende Zusammenstellung in Tabelle 3 zeigen, dass in roher Annäherung das wahre Atomvolumen sich linear, etwa nach der Formel

$$A_r = 1.41 + \frac{A}{20}$$

mit dem Atomgewicht A ändert.

Tabelle 3.

	H	Li	Na	K	Rb	Ag	Cs	
A	1.008	6.94	23.00	39.10	85.45	107.88	132.81	
Ar beob.	1.48	1.75	2.91	4.38	5.70	6.68	8.24	
Ar ber.	1.46	1.76	2.56	3.37	5.68	6.80	8.05	
	Mg	Ca	Cu	Zn	Sr	Cd	Ba	Pb
A	24.32	40.07	63.57	65.37	87.63	112.40	137.37	207.10
Ar beob.	2.66	4.71	4.46	4.36	5.92	6.48	8.08	13.20
Ar ber.	2.63	3.41	4.59	4.68	5.79	7.03	8.28	11.76

Auffallende Abweichungen von dieser Näherungsregel weisen Ka, Ca und Pb auf; einen gewissen Anhalt für die Grössenordnung kann sie aber doch geben; vielleicht auch für andere bisher nicht untersuchte Metallkationen.

Mit ähnlicher Annäherung kann man die wirklichen spez. Volumen und die spez. Gewichte der Kationen nach den Formeln berechnen

$$V = \frac{A_r}{A} = \frac{1}{20}\left(1 + \frac{28.2}{A}\right) \text{ und } s = 20\,\frac{A}{A + 28.2}.$$

Die Anionen fügen sich in diese Reihen nicht ein.

2. Die Dispersion der sichtbaren Strahlen und die ultraviolette Eigenschwingung der Anionen.

Herr Lübben hat gezeigt, dass die relative Dispersion der Lösungen binärer Elektrolyte aus einwertigen Ionen gegen das Lösungsmittel (Wasser) im Gebiet der sichtbaren und ultravioletten Strahlen durch die dreikonstantige Dispersionsformel

$$(2) \qquad \frac{n^2}{n_0^2} = a + \frac{Ma}{\lambda'^2 - \lambda'_a{}^2}$$

dargestellt werden kann, worin

$$\lambda' = \frac{\lambda}{n_0} \text{ und } \lambda_a' = \frac{\lambda_a}{n_0}$$

die Wellenlängen im Wasser sind, und zwar letztere die der einzigen merklich in Betracht kommenden ultravioletten Eigenschwingung des Anions.

Die beiden Konstanten M_a und λ_a' bestimmen die Dispersion, denn für zwei verschiedene Wertepaare von λ' und n mit den Indizes 1 und 2 ergibt sich nach (2):

$$(3) \qquad \frac{n_1^2}{n_0^2} - \frac{n_2^2}{n_0^2} = M_a \frac{\lambda_2'^2 - \lambda_1'^2}{(\lambda_1'^2 - \lambda_a'^2)(\lambda_2'^2 - \lambda_a'^2)}$$

Nach Drude's Elektronendispersionstheorie sind M_a und λ_a' durch eine Beziehung verknüpft, die für die Konzentration einer Normallösung (1 gr Mol./L.) die Form annimmt:

$$M_a = 3.07 \cdot p \cdot \frac{e}{m} \cdot \lambda_a'^4.$$

Hierin ist $\frac{e}{m} = 1.78 \cdot 10^7$ C. G. S. - Einheiten das Verhältnis von Ladung zu Masse eines Elektrons und p die Zahl der schwingenden Elektronen auf 1 gr Mol.

Setzen wir ferner, wie oben (p. 3) für die Normallösung:

$$\frac{n}{n_0} = 1 + \frac{\Delta_n}{100},$$

so wird

$$\frac{n_1^2}{n_0^2} - \frac{n_2^2}{n_0^2} = 2 \frac{\Delta_{n1} - \Delta_{n2}}{100} (1 + \varepsilon),$$

worin $\varepsilon = \frac{\Delta_{n1} + \Delta_{n2}}{200}$ ein kleines Korrektionsglied.

Durch Einsetzen dieser Werte erhält man aus (3):

$$(4) \qquad \Delta_{n1} - \Delta_{n2} = \frac{2.725 \cdot 10^9}{1 + \varepsilon} p (\lambda_2'^2 - \lambda_1'^2) f(\lambda_a')$$

zur Abkürzung setzend:

$$(5) \qquad f(\lambda_a') = \frac{1}{1 - \frac{\lambda_1'^2 + \lambda_2'^2}{\lambda_a'^2} + \frac{\lambda_1'^2 \cdot \lambda_2'^2}{\lambda_a'^4}}$$

Danach kann man die Dispersion in einem beliebigen Spektralgebiete des sichtbaren und ultravioletten Spektrums leicht

berechnen, wenn p und λ_a' gegeben sind. Umgekehrt muss man aus jener auch diese bestimmen können.

Hierzu würde die Bestimmung von Δ_n für drei verschiedene Wellenlängen genügen und zwar im sichtbaren Spektrum, in dessen Bereich nach Grufki die Differenzen $\Delta_{n1} - \Delta_{n2}$ unabhängig sind von der Konzentration für eine einzige Lösung. Das scheitert aber, abgesehen von rechnerischen Schwierigkeiten, daran, dass in diesem engeren Bereich $\frac{\Delta_{n1} - \Delta_{n2}}{\Delta_{n1} - \Delta_{n3}}$ sich mit λ_a' nur sehr wenig ändert, und es einer sehr weit getriebenen Genauigkeit in der Bestimmung der Δ_n bedürfte, um λ_a' auch nur auf 1 % genau zu erhalten.

Noch einfacher wäre die Bestimmung von λ_a', wenn man, wie nach Drude's Theorie zu erwarten, für p eine einfache ganze Zahl und zwar für die gleichkonstituierten Elektrolyte dieselbe Zahl, etwa 1 oder 2, setzen könnte, dann liesse sich λ_a' aus zwei Bestimmungen von Δ_n im sichtbaren Spektrum leicht ermitteln.

Das ist aber nach Lübben's Beobachtungen nicht der Fall; seine Messungen der ultravioletten Dispersion ergeben für die Jodide, Bromide und Chloride in dieser Reihenfolge wachsende Werte von p, und dasselbe lässt sich mit den von Lübben bestimmten Werten von λ_a in Luft (233.5 $\mu\mu$ für J, 186 $\mu\mu$ für Br, 165 $\mu\mu$ für Cl) aus Grufki's Messungen der Dispersion für die drei Wasserstofflinien H_α, H_β, H_γ ableiten.

Es ergibt sich in ziemlicher Uebereinstimmung

	für	J	Br	Cl	
p =	{	0.93	1.40	1.63	nach Lübben,
	{	0.98	1.44	1.54	„ Grufki.

Die Werte von p und λ_a' kann man benutzen, um nach 4 und 5 die Reduktion der Δ_n auf lange Wellen vorzunehmen, oder die Konstante a in 2 zu berechnen, was im ersten Teil benutzt wurde (p. 3).

Aber vielleicht gibt es doch noch eine Möglichkeit, λ_a' aus Dispersionsbestimmungen im Sichtbaren abzuleiten, wenn es nämlich erlaubt ist, p als eine kontinuierliche Funktion von λ_a' aufzufassen, wofür die Theorie zunächst allerdings ebensowenig Anhalt gibt, wie sie über die Abweichungen der p-Werte von den ganzen Zahlen sichere Auskunft zu geben imstande ist; dagegen

geben die obigen Bestimmungen von p für Cl, Br und J einigen Anhalt für die vorstehende Annahme, die sich noch nach kürzeren Wellen ergänzen lässt durch die Dispersionsbestimmungen an gasförmigem Wasserstoff, dessen Moleküle H_2 nach der von Helmholtz in seiner Faraday-Rede vertretenen Auffassung ja nicht anders anzusehen sind, wie die Moleküle HCl, HBr, HJ, indem das eine der beiden Wasserstoffatome die Rolle des Anions übernimmt.

Dispersionsmessungen im Ultravioletten an Wasserstoffgas hat neuerdings Herr John Koch[1]) mitgeteilt und berechnet mit der dreikonstantigen Dispersionsformel:

$$\lambda_a = 88\ \mu\mu \text{ und } p \cdot \frac{e}{m} = 2.54 \cdot 10^7 \text{ C. G. S.},$$

was mit $\frac{e}{m} = 1.78 \cdot 10^7$ C. G. S. ergibt: $p = 1.43$.

Frühere Bestimmungen liefern im Mittel[2]):

$$p \cdot \frac{e}{m} = 2.8 \cdot 10^7 \text{ C. G. S., also } p = 1.57$$

in gutem Anschluss an die obigen Werte für Cl und Br.

Auch die von Herrn John Koch bestimmten Dispersionswerte für H schliessen sich gut an die Grufki'schen für Cl und Br an, denn es berechnet sich aus ihnen für die Wasserstofflinien H_α und H_γ und eine der Normallösung entsprechende Dichte (bei 22.5 Atm.) für H:

$$\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha = 6.7 \cdot 10^{-3}.$$

Das führt zu folgender Zusammenstellung der die Dispersion im sichtbaren Spektrum ausdrückenden Differenzen $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha$ für H_α und H_γ mit den zugehörigen Luftwellenlängen λ_a der ultravioletten Eigenschwingungen in Tabelle 4, in die auch die Mittelwerte der p aufgenommen sind.

Auch Fluor fügt sich noch leidlich in diese Zusammenstellung ein, denn seine Eigenwellenlänge ist in der Nähe von der des Flussspaths (95 $\mu\mu$ nach F. F. Martens) anzunehmen, da auch die des Cl in Lösung in der Nähe von denen der festen Salze (Steinsalz und Sylvin) liegt und den Dispersionswert hat Herr Grufki (wegen seiner Kleinheit wenig genau) ungefähr $\Delta n_\gamma - \Delta n_\alpha = 4 \cdot 10^{-3}$ bestimmt; beide Werte liegen auch in der Nähe der entsprechenden Werte des Wasserstoffs.

[1]) John Koch, Ark. f. Mat. **8**, No. 20, 1912.
[2]) John Koch, Ann. d. Phys. **17**, 668, 1905.

Tabelle 4.

	$10^3\ \Delta n\gamma - \Delta n\alpha$	p	$\lambda_a\ \mu\mu$	$\lambda_a^2\ \mu\mu^2$
H	6.7	1.5	88	7750
ClO^3	22.4		(148)	
Cl	37	1.6	165	27200
NO^3	42		(168)	
Br	73	1.4	186	34600
CNS	100		(200)	
J	174	0.95	233.5	54500

In diese Tabelle sind auch die Grufki'schen Werte der Dispersion für einige weitere einwertige Anionen aufgenommen. Stellt man nun die Dispersionswerte $\Delta n\gamma - \Delta n\alpha$ als Funktion von λ_a^2 graphisch dar, so erhält man für H, Cl, Br, J eine kontinuierliche Kurve, die von 0 zuerst bis etwa $\lambda_a^2 = 24000$ oder $\lambda_a = 155\ \mu\mu$ sehr langsam und etwas beschleunigt, dann aber stark und nahezu geradlinig ansteigt. Die Interpolation aus dieser Kurve liefert die in Klammern eingefügten Werte für λ_a, die wenigstens zur ersten Orientierung dienen können, und deren Berechtigung ebenso wie die der gemachten Voraussetzungen durch weitere Beobachtungen im Ultraviolett zu prüfen sein werden.

[Aus dem Institute für Pharmakologie und physiol. Chemie zu Rostock.]

Beiträge zur Kenntnis der Bestandteile und Wirkungen des Rhizoms von Podophyllum.

Von

Ludwig Disqué-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 28. Januar 1913.

Zweiter Teil.

Mit Tafel 3—5.

I. Bestandteile und Produkte des Rhizoms.

Das Podophyllin ist keine einheitliche Substanz, wie man nach seinem Namen eigentlich vermuten sollte, kein Alkaloid, noch Glykosid, sondern ein Gemisch mehrerer Bestandteile. Der Name wurde im Jahre 1832 von Hodgson[1]) in die medizinische Nomenklatur eingeführt, von den Elektikern, die das Mittel bei allen möglichen Krankheiten anwendeten, übernommen und ist noch heute allgemein üblich, sollte jedoch besser durch „Podophyllum-Harz“ ersetzt werden.

Es ist das Verdienst Podwyssotzkis[2]), sowohl aus dem Rhizoma Podophylli, wie aus dem Podophyllin folgende Substanzen dargestellt zu haben:

1. Podophyllotoxin, amorph, wirksam.
2. Pikropodophyllin, krystallinisch, wenig wirksam.

[1]) Hodgson, Journ. of the Philadelphia College of Pharmacy. Bd. 8. 1832. S. 273.

[2]) Podwyssotzki, V., Ueber die wirksamen Bestandteile des Podophyllins. Pharmazeutische Zeitschrift für Russland. Jg. 20. 1881. S. 49. Pharmakologische Studien über Podophyllum peltatum. Arch. f. exp. Pathologie und Pharmakologie. Bd. 13. 1880. S. 29.

3. Pikropodophyllinsäure, amorph, unwirksam.
4. Podophyllinsäure, amorph.
5. Podophylloquercetin, krystallinisch.
6. Ein fettes, grünes Oel.
7. Einen, in dem grünen Oel sich absetzenden, farblosen, kristallinischen Körper.

Podophyllinsäure und Pikropodophyllin erhielt Podwyssotzki aus Podophyllotoxin wie aus dem Harz durch Einwirkung von Alkalien.

Nach Dunstan und Henry[1]) enthält das Podophyllumharz:

1. Podophyllotoxin.
2. Podophylloquercetin.
3. Ein Residual-Harz.

   Löst man dieses in Alkohol und lässt es durch Eingiessen in Wasser niederschlagen, so erhält man zwei Harze:

   a) Podophyllharz (Podophyllo-resin), wirksam.
   b) Ein nicht abführend wirkendes Harz.
4. Ein fettiger Körper.

Kürsten[2]) und Dunstan und Henry ergänzten die Resultate Podwyssotzkis und zeigten, dass Pikropodophyllin und Podophyllotoxin isomere Körper sind; ferner gelang es ihnen, Podophyllotoxin krystallinisch darzustellen.

Podophyllin.

Was die fabrikmässige Gewinnung von Podophyllin anbelangt, so wird zu dem Zwecke die gröblich gepulverte Wurzel mehrere Tage lang mit Alkohol mazeriert und nach Destillation desselben der zur Sirupkonsistenz eingedampfte Rückstand in Wasser unter fortwährendem Umrühren ausgegossen. In dieser Mischung entsteht innerhalb 24 Stunden ein Niederschlag, der auf einem Filter wiederholt mit Wasser ausgewaschen und schliesslich getrocknet wird. Die Ausbeute an Harz ist dieselbe, ob man die mit Alkohol dargestellte Tinktur in kaltes oder warmes Wasser giesst und bei

[1]) Dunstan, W. B. und Henry, T. A. A Chemical Investigation of the Constituents of Indian and American Podophyllum. Journal of the Chemical Society. Transactions. Bd. 73. 1898. S. 209.

[2]) Kürsten, R., Ueber die Bestandteile von Rhizoma Podophylli. Arch. d. Pharmazie. Bd. 229. 1891. S. 220.

100° oder 50° trocknet.[1]) Das deutsche Arzneibuch schreibt reines Wasser vor; benutzt man statt dessen salzsäurehaltiges Wasser, so geht die Abscheidung schneller vor sich und man erhält eine grössere Ausbeute. Wird salzsäure- und 5 % alaunhaltiges Wasser angewendet, so soll die Ausbeute sogar das Vierfache erreichen. Auch die Farbe des Produkts und seine Löslichkeit sind je nach dem angewandten Verfahren verschieden. Das mittels Säure erzielte Podophyllumharz besitzt eine braunrote Farbe, das mit Alaunlösung eine gelbe.

Das offizinelle Podophyllumharz wird aus dem Rhizom von Podophyllum peltatum gewonnen; nur die indische Pharmakopöe lässt auch das aus Podophyllum Emodi dargestellte zu. Wie folgende Tabelle zeigt, ergibt jedoch nach den Versuchen verschiedener Autoren das indische Rhizom die doppelte Harzmenge.

Harzgehalt des gepulverten Rhizoms	Podophyllum Emodi	Podophyllum peltatum
Dunstan und Henry[2])	9—12 %	4—5 %
Umney[3])	11,4 %	5,9 %
Dymock und Hooper[4])	10—12 %	3,5—5 %
Thompson[5])	10 %	5 %

Dott[6]) bestreitet die von Dunstan und Henry ausgesprochene Identität des indischen und des amerikanischen Harzes. Behandelt man nämlich beide Podophyllinsorten mit verdünntem Ammoniak, so hinterlässt Podophyllum peltatum nur einen Rückstand von 5—12 %, das andere dagegen einen solchen von 50—60 %, es gelatinisiert. Letzterer besteht beinahe vollkommen aus einem

[1]) Burnett, J. Fr., Ueber Resina Podophylli. Ztschr. d. allg. öster. Apothekervereins. Bd. 41. S. 426. Chem. Zent. 1887. S. 1234.

[2]) Dunstan und Henry, l. c.

[3]) Umney, J. C., Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 23. 1892. S. 207 u. 440. Further Note of Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and Pharmacist. Bd. 87. 1911. S. 156.

[4]) Dymock, W. und Hooper, D., Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 20. 1889. S. 585.

[5]) Thompson, F. A., Americ. Journ of Pharm. Mai 1890. S. 245.

[6]) Dott, D. B., The ammonia test for podophyllin. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 23. 1906. S. 431.

Gemisch, das die Eigenschaften des Pikropodophyllins besitzt und nicht in derselben Form in Podophyllum peltatum enthalten ist. Der Harzgehalt beider Pflanzen hängt ausserdem auch von der Jahreszeit, in der das Rhizom gesammelt wurde, und von ihrem Standort ab. Die im April und Mai, vor und während der Blütezeit eingesammelten Rhizome sind am harzreichsten, ebenso die höherer Lagen. Man erhält eine grössere Ausbeute vom kultivierten Podophyllum wie vom wildwachsenden. Die in England kultivierte Pflanze enthält nach Smith[1]) 1 % Harz mehr als die amerikanische.

Das Podophyllin des Handels stellt ein fast zitronengelbes, grüngelbes oder orangebraunes, amorphes Pulver, oder eine lockere, zerreibliche, amorphe Masse von gelblich oder bräunlichgrauer Farbe dar. Je heller das Harz, desto weniger verunreinigt und desto besser ist es; doch hängt die Farbe, wie wir oben gesehen haben, auch von der Darstellungsmethode ab.

Beim Kauen entwickelt das Podophyllumharz einen bitteren Geschmack, der sich beim langsamen Mischen mit dem Speichel verstärkt und einen an Seifenwurzel erinnernden Beigeschmack entwickelt. Im Schlunde verspürt man ein eigentümliches, kratzendes Gefühl. Der Geruch ist eigenartig unangenehm süsslich. Bei 100° nimmt Podophyllin allmählich eine dunklere Farbe an, ohne jedoch zu schmelzen, der Schmelzpunkt liegt bei 104,4°. Nach Brasche[2]) gibt es im Spektrum keine charakteristische Absorptionserscheinungen. Mit Wasser geschüttelt liefert es ein fast farbloses, bitter schmeckendes Filtrat, das Lackmuspapier nicht verändert.

In kaltem, destilliertem Wasser und Terpentinöl ist Podophyllin unlöslich, in siedendem Wasser sehr schwer löslich, nach Power[3]) 0,006 in 100, nach Berringer[4]) ungefähr 22 % in kochendem Wasser. Wenn es aber längere Zeit mit Wasser auf dem Wasserbade digeriert wird, so geht ein Teil in Lösung, die nach dem Erkalten trübe und emulsionartig wird und später einen amorphen Niederschlag gibt. Der in heissem Wasser unlösliche

---

[1]) Smith, Pharm. Journ. and Trans. Bd. 10. 1868—1869. S. 459.

[2]) Brasche, O., Ueber die Verwendbarkeit der Spektroskopie zur Untersuchung der Farbenreaktionen der Gifte im Interesse der forensischen Chemie. Inaug.-Diss. Dorpat 1891.

[3]) Power, Pharm. Journ. and Trans. Bd. 5. 1874—1875. S. 241.

[4]) Berringer, Pharm. Journ. and Trans. Bd. 24. 1893—1894. S. 624.

Teil fliesst harzartig ab. In kaltem 85—95 % Alkohol und Azeton löst sich Podophyllin vollständig. In Aether löst es sich nach Cadbury[1]) zu 75 %, nach Harvey Allen[2]) zu 80 %, in Chloroform zu 64 % und in Schwefelkohlenstoff nur zum Teil. Die Löslichkeit in Alkohol nimmt nach Tayler[3]) mit dem Alter des Harzes ab. Er fand, dass Proben, die frisch völlig löslich waren, nach zwei Jahren über 2 % Unlösliches enthielten. In 100 Teilen Ammoniak, wie in Alkalien löst sich Podophyllin klar zu einer gelb gefärbten Flüssigkeit. In Ammoniak tritt aber nach einer Zeit Zersetzung und Ausscheidung in Flocken ein[4]). Aus der alkalischen Lösung wird es durch Säuren niedergeschlagen und unterscheidet sich in dieser Hinsicht in auffallender Weise von dem Jalappeharz.

Unter dem Namen Podophyllinum purissimum bringen unsere chemischen Fabriken den in Aether löslichen Teil des Podophyllumharzes in den Handel. Die Firma Merck fügt diesem Namen leider noch das Wort Podophyllotoxin in Parenthese hinzu, obwohl es sich gar nicht um diese reine Substanz handelt und leicht zu Irrtümern Veranlassung geben kann. Podophyllin purissimum soll von reiner, gelber Farbe sein und aus seiner 50 % alkoholischen Lösung nicht durch Hinzufügen von 10 Teilen Aether niedergeschlagen werden. Der wässerige Auszug gibt mit Eisenchlorid eine braune, die alkoholische Lösung eine schwarze Farbe. Bleiessig ruft im wässerigen Auszug eine gelbe Färbung mit sehr schwacher Opaleszenz hervor, allmählich scheiden sich rotgelbe Flocken ab. In Schwefelsäure und konzentrierter Salzsäure löst es sich in der Wärme mit gelber, allmählich ins Blutrote übergehender Farbe. Am besten zeigt sich diese Reaktion, wenn man das Podophyllin in Eisessig löst und dann tropfweise Schwefelsäure hinzufügt; es zeigt sich dann eine schöne rote Färbung.

Podophyllotoxin.

Der für die Wirkung in der Hauptsache in Betracht kommende Bestandteil des Podophyllumharzes ist das Podophyllotoxin, von dem das Handelspräparat mindestens 20 % enthalten

---

[1]) Cadbury, W., Americ. Journ. of Pharmacy. Juli 1858. S. 301.

[2]) Allen, H., Americ. Journ. of Pharmacy. Mai 1859. S. 206.

[3]) Tayler, S., Die Alkohollöslichkeit des Podophyllins. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 27. 1907. S. 346.

[4]) Apothekerzeitung Nr. 24. 1912. S. 223.

soll. Im indischen Rhizom ist nach Dunstan und Henry (l. c.) 3—5 %, im amerikanischen 0,8—1 % Podophyllotoxin vorhanden. Podophyllin Emodi ergibt, wie folgende Tabelle zeigt, eine bedeutend grössere Menge an Podophyllotoxin.

Podophyllotoxingehalt des Harzes	Podophyllin Emodi	Podophyllin peltatum
Dunstan und Henry (l. c.)	38 %	20 %
Umney (l. c.)	50,3 %	22,9 %
Thompson (l. c.)	56,55 %	25 %
Scoville[1])	16 %	3 %
Schofield	63 %	25 %

Diese Substanz wurde zuerst im Jahre 1881 amorph, dann 1882 krystallinisch von Podwyssotzki (l. c.) dargestellt und diese Resultate zehn Jahre später von Kürsten (l. c.) berichtigt und ergänzt. Das Podophyllotoxin Podwyssotzkis war nicht konstant in der Zusammensetzung und sein Schmelzpunkt schwankte zwischen 100—125° C., Kürsten setzte den Schmelzpunkt bei 93—95° fest und die Substanz hat nach ihm die Formel:

$$C_{23}H_{24}O_9 + 2H_2O.$$

Dunstan und Henry (l. c.) stellten 1898 weitere eingehende Versuche über den chemischen Charakter des Podophyllotoxins an. Nach ihnen hat es die Formel:

$$C_{15}H_{14}O_6 + 2H_2O$$

und seinen Schmelzpunkt bei 117°, wird wasserfrei bei 157°. Podophyllotoxin ist eine neutrale, krystallinische Substanz, die Krystalle bestehen aus farblosen Nadeln. Der Geschmack ist wie der des Podophyllumharzes unangenehm bitter. In kaltem Wasser ist es sehr schwer löslich, 100 cm lösen bei 15° 0,014 g. In heissem Wasser löst es sich etwas mehr, das Gelöste scheidet sich aber beim Erkalten wieder amorph ab. Die Löslichkeit in Aether und kaltem Benzol ist sehr gering, siedendes Benzol löst mehr, beim Erkalten scheidet sich ein Körper krystallinisch wieder ab. Leicht löslich ist es in Azeton, Chloroform und 95 % Alkohol,

[1]) Scoville, W. L, Resin of Podophyllum. Pharm. Journ. and Pharmacist. Bd. 83. 1909. S. 479.

etwas schwieriger in Eisessig. Aus letzterem Mittel scheiden sich aber nur amorphe, lackähnliche Massen ab. Die besten Krystallisationsmittel sind 45 % Alkohol und Benzol. Die Lösungen sind sämtlich farblos und ohne Einwirkung auf Pflanzenfarbstoffe. Die alkoholische Lösung schmeckt ungemein bitter und reagiert schwach sauer. Die Lösung in Alkohol und Azeton ist stark linksdrehend, im Spektrum geben dieselben keine charakteristischen Absorptionserscheinungen. Bei der Einwirkung von Brom entsteht das Brompodophyllotoxin $C_{15}H_{14}O_6Br$, eine bei 250° schmelzende, farblose, krystallinische Verbindung. Isomer ist das aus Pikropodophyllin dargestellte Monobrompikropodophyllin, farblose Krystalle mit einem Schmelzpunkt bei 138°.

Mit konzentrierter Schwefelsäure gibt Podophyllotoxin sofort eine gelbgrüne Färbung, die beim Erwärmen ins Dunkelbraune übergeht. Ebenso geben alle Reagentien, die mit konzentrierter Schwefelsäure zusammengesetzt sind, im wesentlichen die Schwefelsäurereaktion. Konzentrierte Salpetersäure und konzentrierte, rauchende Salpetersäure erzeugen sofort Rotfärbung, die augenblicklich ins Rotbraune, Rotgelbe und schliesslich ins Hellgelbe übergeht. Besser gelingt die Reaktion, wenn man die Substanz zuerst in Eisessiglösung bringt und nun einen Tropfen konzentrierter Salpetersäure in die Lösung fallen lässt, man nimmt dabei sofort auftretende, aber auch gleich vorübergehende Rotfärbung des Tropfens wahr. Konzentrierte Salzsäure löst sofort gelb, eine Veränderung der Farbe findet weder beim Erwärmen, noch Stehen statt. Millons Reagenz ergibt in der Eisessiglösung eine deutliche Rotfärbung, Eisenchlorid färbt alkoholische Podophyllotoxinlösung gelbgrün. Zur Kontrolle der Reinheit des Präparats empfiehlt Podwyssotzki die Eisenchloridprobe: eine alkoholische Lösung von Podophyllotoxin wird mit Eisenchlorid versetzt, um so mehr dunkelgrün bis schwarz, je weniger rein ist es. Diese Färbung weist auf beigemengtes Podophylloquercetin hin. Fällungen werden in einer alkoholischen Podophyllotoxinlösung erzeugt durch Phosphormolybdänsäure, Kaliumquecksilberjodid, Kaliumkadmiumjodid und Gerbsäure.

Das zu meinen physiologischen Versuchen verwendete Podophyllotoxin stellte ich aus Podophyllinum purissimum Merck nach der ersten Podwyssotzkischen und auch nach der Kürstenschen Methode dar. Näheres über die Darstellungsmethoden findet sich am Schluss des ersten Teils meiner Arbeit im vorigen Bande dieser

Abhandlungen. Auch aus dem Rhizoma Podophylli Emodi gewann ich die reine Substanz nach der von Kürsten angegebenen Methode, nur mit dem Unterschiede, dass ich im Soxhletschen Apparat und nicht im Perkolator extrahierte. Die Ausbeute betrug 2 %, die Krystalle bestanden aus farblosen Nadeln.

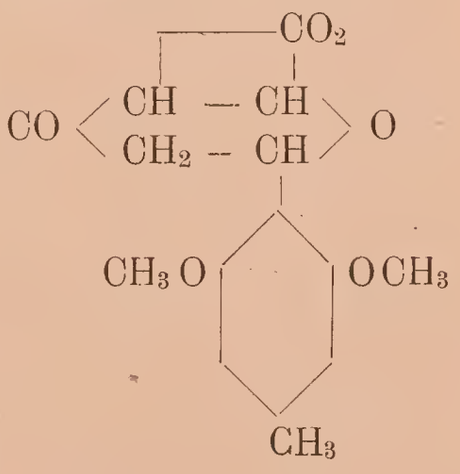
Podophyllsäure.

Kürsten sah durch Oxydation mit übermangansaurem Kali in alkoholischer Lösung aus dem Podophyllotoxin in der Hauptsache zwei Körper entstehen. Das in grösserer Menge erhaltene Produkt, das er Podophyllsäure $C_{20}H_{24}O_9$ nannte, ist in Alkohol leicht, schwerer in warmem Wasser und Aether, noch schwerer in kaltem Wasser löslich und krystallisiert aus Aether sowie aus einem Gemenge von Benzol und Alkohol in Form langer, gut ausgebildeter farbloser Nadeln. Der Schmelzpunkt liegt bei 158—160°. Die wässerige Lösung rötet blaues Lackmuspapier. Aus den mit Hilfe von Alkalien hergestellten Lösungen wird Podophyllsäure durch Säuren unverändert wieder abgeschieden. Sie ist ohne Wirkung auf den Tierkörper. Konzentrierte Schwefelsäure bewirkt eine dunkelrote, allmählich in grün übergehende Färbung.

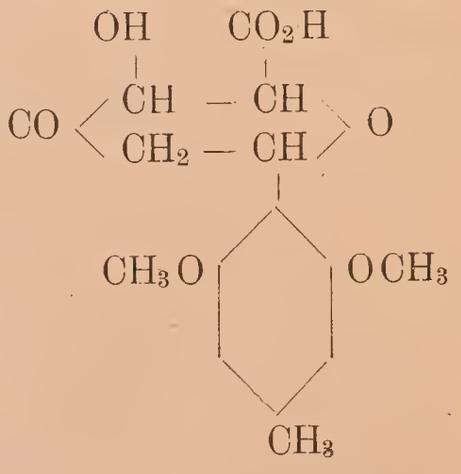
Pikropodophyllin.

Beim Erhitzen mit Alkalien geht Podophyllotoxin unter Wasseraufnahme in Podophyllinsäure über. Diese Säure, die eine gelatinöse Masse bildet, verliert rasch Wasser und liefert das dem Podophyllotoxin isomere Pikropodophyllin, $C_{15}H_{14}O_6$. Pikropodophyllin ist im Gegensatz zu Podophyllotoxin therapeutisch unwirksam und optisch inaktiv. Es hat seinen Schmelzpunkt nach Kürsten und Dunstan und Henry bei 227°. Wahrscheinlich ist Pikropodophyllin (Formel 1) das Lakton der Podophyllinsäure (Formel 2), welche die Oxycarbonsäure des Dimethoxymethylphenylhydro-γ-pyrons ist.

I.



II.



Kürsten erbrachte den sicheren Nachweis, dass Podophyllotoxin und Pikropodophyllin Körper von gleicher prozentischer Zusammensetzung sind, und dass sich ersteres leicht in letzteres verwandeln lässt. Durch die grosse Verschiedenheit der physikalischen Eigenschaften der beiden Körper war die Annahme ausgeschlossen, dass sie identisch sind. Nach Kürsten sind sonach Podophyllotoxin und Pikropodophyllin isomere Körper. Die farblosen, äusserst zarten Krystalle ballen sich beim Trocknen in filzige, glänzende, seidenartige Massen.

Pikropodophyllin ist in allen Lösungsmitteln wie Podophyllotoxin, nur schwieriger löslich. Sehr leicht löslich in Chloroform, leicht löslich in 90—96 % Alkohol, schwerer in 85 %. In 50 % und sogar in 75 oder 80 % Alkohol ist das Pikropodophyllin so schwer löslich, dass man ihn zum Auswaschen der Kristalle und zur Befreiung von beigemengten Extraktivstoffen benutzen kann. Ferner löst sich Pikropodophyllin in Schwefeläther und kristallisiert aus warmen gesättigten Lösungen beim Erkalten heraus. Völlig unlöslich ist es in Wasser, Terpentinöl und Petroläther, löslich aber in heissen Oelen, woraus es beim Erkalten allmählich wieder auskristallisiert. Auch in Eisessig löst es sich und kristallisiert aus demselben bei freiwilliger Verdunstung in Form von grossen, kreuzartig gruppierten, flachen Prismen. Beim Hinzufügen von Wasser zur alkoholischen Lösung fällt es augenblicklich in Form von kristallinischen feinen, langen, seidenartigen Nadeln nieder.

Mit konzentrierter Schwefelsäure gibt es nicht wie Podophyllotoxin eine rotbraune, sondern eine fast rote Färbung, die allmählich, namentlich an den Rändern, einen grünlichen Schimmer annimmt, erwärmt wird die Lösung rotviolett. Zusätze von Brom- oder Jodwasser zur schwefelsauren Lösung rufen schwach violetten Farbenton hervor, alkoholische Schwefelsäure löst das Pikropodophyllin mit nicht sehr ausgesprochener Violettfärbung. Fröhdes Reagenz löst es wie konzentrierte Schwefelsäure, Zusatz von etwas verdünnter Salzsäure bewirkt schöne Violettfärbung, wobei eine schwarze Substanz abgeschieden wird. Konzentrierte Salzsäure löst schwer und farblos. Konzentrierte Salpetersäure löst das Pikropodophyllin erst braun, die Lösung wird aber bald rötlich, um dann schliesslich in Gelb überzugehen.

So wenig sich Podophyllin und Podophyllotoxin unterscheiden lassen, gibt es doch zwischen beiden und dem Pikropodophyllin gute Unterscheidungszeichen. Vor allem unterscheiden sie sich

durch ihre Reaktion mit konzentrierter Schwefelsäure und dem Fröhdeschen Reagenz in Verbindung mit Salzsäure; Violettfärbung, wie sie das Pikropodophyllin liefert, sind beim Podophyllin und Podophyllotoxin nicht zu erreichen.

Zur Darstellung des Pikropodophyllins behandelt Podwyssotzki Podophyllotoxin entweder mit kaltem Ammoniak, wobei sich beigemengte Pikropodophyllinsäure und die sonstigen Verunreinigungen lösen und das Pikropodophyllin in fast reinem Zustande zurückbleibt. Zweckmässiger löst er den entfetteten Chloroformauszug in wenig 85 % Alkohol und dampft die sirupöse Lösung nach Zusatz einer grösseren Menge frisch gelöschten, pulverförmigen Kalkes auf dem Wasserbade zur Trockene ab. Die resultierende gelbe Masse wird fein gepulvert und mit Alkohol wiederholt ausgekocht. Aus dem heiss filtrierten Alkohol scheidet sich beim Erkalten das Pikropodophyllin in schönen Nadeln ab.

Pikropodophyllinsäure.

Die dritte von Podwyssotzki isolierte Substanz ist die von ihm Pikropodophyllinsäure, von früheren Autoren Podophyllinsäure benannte Säure, welche nach ihm die Eigenschaft hat das Pikropodophyllin in Lösung zu erhalten und gemengt oder chemisch gebunden mit diesem das Podophyllotoxin bilden soll. Er stellt die Säure nach dem Ausscheiden des Pikropodophyllins aus seinem entfetteten Chloroformextrakt dar. Sie tritt in feuchtem Zustande in Gestalt einer froschlaichähnlichen Gallerte auf, in welche bisweilen lange Nadeln, wahrscheinlich von Pikropodophyllin beobachtet wurden. Beim Trocknen verwandelt sich die Gallerte in ein graues, sandartig anzufühlendes Pulver, welches vollständig unwirksam ist.

Kürsten vermutet, dass die Pikropodophyllinsäure identisch mit der durch Oxydation aus Podophyllotoxin erhaltenen Podophyllsäure $C_{20}H_{24}O_9$ ist. Der Schmelzpunkt der Pikropodophyllinsäure liegt zwischen 156—158° und gibt mit konzentrierter Schwefelsäure dieselbe Rotfärbung wie Podophyllsäure und Kürsten konnte auch bei ihr bisweilen die Bildung von Gallerten beobachten. Beim Behandeln mit gewöhnlicher, warmer Kalilauge verwandelt sie sich in eine braune, amorphe Masse. Die erzielte Ausbeute war leider eine so geringe, dass die Ausführung von Elementaranalysen nicht möglich war.

Podophyllinsäure.

Ausser dieser amorphen Substanz erwähnt Podwyssotzki in seiner zweiten Arbeit einen weiteren Körper, die von ihm Podophyllinsäure benannte Substanz. Er gewinnt sie durch Ausfällen des Chloroformextraktes mit Aether als eine braune, amorphe harzartige Masse, die in Aether und Petroläther unlöslich ist.

Nach Dunstan und Henry ist die Podophyllinsäure als Hydrat des Pikropodophyllins aufzufassen. Beim Kochen desselben mit wässrigen Alkalien entsteht Podophyllinsäure, dieses verliert rasch Wasser und liefert Pikropodophyllin. Podophyllinsäure kommt als solche nicht in der Pflanze vor, sie kann nur aus dem Podophyllotoxin künstlich gewonnen werden.

Podophylloquercetin.

Ein weiterer von Podwyssotzki dargestellter Körper ist das Podophylloquercetin $C_{23}H_{16}O_{10}$. Er stellte es aus dem mit Chloroform ausgezogenen Podophyllin durch Extraktion mit Aether dar. Nach dem Abdestillieren des Aethers wird der Rückstand mit Bleiazetat behandelt, die entstandene Bleiverbindung mit Schwefelsäure oder Schwefelwasserstoff zersetzt und das freigewordene Podophylloquercetin mit Aether aufgenommen. Aus letzterem scheidet es sich in Form mikroskopischer Kristalle ab.

Der reine Körper stellt je nach der Konzentration der Lösung, aus der sich Kristalle ausscheiden, kleine, schöne hellgelbe Nadeln oder lange S-förmig gekrümmte in einander verschlungene Kristalle dar, die das Licht stark brechen. Der Schmelzpunkt liegt bei 275—277°.

Kommt das Podophylloquercetin in Substanz oder in Lösung mit Eisenchlorid in Berührung, so tritt Grünfärbung ein. Erhitzt man es über seinen Schmelzpunkt, so sublimiert es, in Alkalien löst es sich mit intensiv gelber Farbe. Mit konzentrierter Schwefelsäure befeuchtet, färbt sich das Podophylloquercetin orangerot, mit konzentrierter Salpetersäure dunkelrot bis braun, mit rauchender Salpetersäure ebenso. In Wasser ist der Körper fast unlöslich, sehr schwer in kaltem Eisessig, leichter in heissem Eisessig und Aether, am leichtesten in hochprozentigem Alkohol. Die Eisessiglösung zeigt mit Millons Reagenz die charakteristische Rotfärbung der hydroxylierten oder methoxylierten Benzole. Das Podophyllo-

quercetin entspricht der von Hlasiwetz[1]) für Quercetin angegebenen Formel: $C_{23} H_{16} O_{10}$. Nach Dunstan und Henry[2]) ist Podophyllquercetin identisch mit dem Quercetin der Quercitronrinde. Umney (l. c.) behauptet, dass Podophyllum peltatum fast die doppelte Menge von Podophylloquercetin enthalte wie Podophyllum Emodi, da aber seine Methode nicht genau genug ist, scheint es nicht erwiesen zu sein, dass er recht hat.

Podophylloquercetin liefert ein Acetylderivat $C_{23} H_{12} (C_2 H_3 O) O_{11}$ mit dem Schmelzpunkt bei 180—182° und ein Benzoylderivat $C_{23} H_{12} (C_7 H_5 O)_6 O_{11}$. Schmelzpunkt bei 239°.

Das fette Oel des offizinellen Podophyllins ist stets von grünlicher Farbe; bräunlich ist es nur dann, wenn bei der Zubereitung des Podophyllins Alaunlösung angewandt wurde. Ein anderer fettiger Stoff, der in diesem Oel gelöst ist, kristallisiert daraus in Form farbloser, cholesterinartiger Blättchen. Das fette Oel besitzt einen besonderen Geruch, der an den der Podophyllumwurzel erinnert.

Ueber die im offizinellen Podophyllin nebenbei enthaltenen Extraktivstoffe wäre nichts besonderes zu sagen. Sie sind alle von schmutzig graubrauner Farbe und von der Konsistenz klebrig-weicher Harze. Auf den tierischen Organismus sind sie unwirksam.

Podophyllharz.

(Podophyllo-resin.)

Dunstan und Henry zeigten, dass das Harz nach vollständiger Podophyllotoxinextraktion mit Chloroform und Aether noch ein stark abführendes Residualharz enthielt. Dasselbe ist nur in Alkohol löslich und durch fraktionierte Präcipitation einer solchen Lösung in Wasser erhält man zwei Substanzen. Die eine stellt ein durchscheinendes, braunrotes Harz und die andere ein schwarzes Pulver, fast unlöslich in Alkohol dar. Das braunrote Harz wirkt abführend und wurde von Dunstan und Henry Podophyllharz (Podophyllo-resin) bezeichnet. Das schwarze Pulver ist vollständig unwirksam. Alle Versuche, eine kristallinische Substanz aus dem Podophyllharz zu isolieren, misslangen.

Obwohl dem Podophyllharz gerade eine hohe physiologische Wirkung zukommt, wie wir im Folgenden sehen werden, so findet es sich doch nirgends bei uns erwähnt.

---

[1]) Hlasiwitz, Annalen der Chemie und Pharmazie. Bd. 112. S. 96.

[2]) Dunstan und Henry (l. c.).

II. Wirkungen der Bestandteile des Rhizoms.

Das aus dem Rhizom von Podophyllum peltatum gewonnene offizinelle Podophyllumharz findet in kleinen Gaben von 0,05—0,1 g besonders bei habitueller Obstipation als Drasticum Verwendung. Ebenso wie Jalape, Elaterium, Koloquinthen und Gutti gehört Podophyllin zur Gruppe der Drastica, den Abführmitteln mit entzündlicher Nebenwirkung. Das deutsche Arzneibuch gibt seit 1882 für das Mittel 0,1 pro dosi und 0,3! pro die, die österreichische Pharmakopöe seit 1864 0,05 pro dosi und 0,2 pro die als Maximaldosis an.

Aus dem Rhizom von Podophyllum Emodi erhält man, wie ich oben an der Tabelle gezeigt habe, die doppelte Menge Harz, doch hat das Emodiharz bis jetzt nur in die Pharmakopöe von Indien und den ostindischen Kolonien Eingang gefunden und neuerdings plädiert man auch in England für die Aufnahme von Podophyllum Emodi in die nächste Britische Pharmakopöe.[1]) Die Frage, welches nun das wirksamere von beiden ist, kann sehr schwer entschieden werden, da der Harzgehalt ja auch von dem Standort der Pflanze und von der Jahreszeit, in der das Rhizom gesammelt wurde, abhängig ist. Mackenzie, Dixon[2]) und Umney[3]) verglichen die Wirkungsweise beider Harze, doch führten diese Versuche zu keinem einheitlichen Resultat. Die Art der physiologischen Wirkung der beiden Harze sind die gleichen, nur beeinflusst das indische mehr den Magen und ruft leichter Erbrechen hervor, während die Koliken, die so oft nach dem Gebrauch des amerikanischen Podophyllumharzes eintreten, hier nicht vorhanden zu sein pflegen.

Rutherford und Vignal[4]) gaben schon an, dass die Wirksamkeit von Podophyllin bei Gallenabwesenheit von Galle im Darme bedeutend geringer sei und langsamer eintrete. Müller[5])

[1]) Puran Singh. Chemist and Druggist, 18. Mai 1912. S. 120.

[2]) Mackenzie und Dixon, The physiological action and properties of podophyllin, with special referece to indian podophyllin. Edinb. med. Journ. Nov. 1898. S. 393.

[3]) Umney, J. C., Further Note of Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and Pharmacist. Bd. 87. 1911. S. 156.

[4]) Rutherford und Vignal, An abstract of an experimental research on the physiological actions on the secretion of bile. Brit. med. Journal. Januar 1875. S. 3.

[5]) Müller, O., Ueber den Einfluss einiger pharmakologischer Mittel auf die Sekretion und Zusammensetzung der Galle. Inaug.-Dissert. Dorpat 1890.

erzielte bei Gallenfistelhunden keine deutliche abführende Wirkung mit Podophyllin, doch rief es auch keine Nebenerscheinungen hervor. Nach den Versuchen Loewentons[1]) ist vielleicht bei Gallenabwesenheit im Darm nach innerlicher Verabreichung von Podophyllotoxin die Wirkung abgeschwächt, denn erst erheblich höhere Dosen erzeugen bei dem Gallenfistelhunde starke Wirkung. Hervorzuheben waren noch die starken gastrischen Symptome nach den grösseren Dosen. Es ist also die Wirkung des Podophyllins und Podophyllotoxins, ebenso wie die des Jalapenharzes[2]) an die Anwesenheit von Galle im Darme gebunden, oder wird wenigstens von ihr deutlich unterstützt. Nach Magnus[3]) soll die Galle als vorzügliches Lösungsmittel dieser Substanzen wirken. Wird dagegen Podophyllotoxin subkutan gegeben, so wirkt es auch bei Gallenabschluss, weil es bereits bei der Ausscheidung in wirksame Berührung mit der Darmwand tritt.[4])

Wie Spindler[5]) unter Kobert gezeigt hat, wird Podophyllotoxin auch bei subkutaner Anwendung durch den Darm ausgeschieden. Die Wirkung ist nicht, wie Podwyssotzki annahm, eine zentrale, sondern wie Neuberger (l. c.) und Dixon[6]) bewiesen haben, eine periphere, lokal bedingte, da sie auch nach Durchschneidung der beiden Vagi und Splanchnici deutlich blieb.

Für die Wirkung des Podophyllins auf die Gallensekretion ist nicht, wie vielfach noch heute angenommen wird, das Podophyllotoxin in Betracht zu ziehen, sondern das Podophyllharz (Podophyllo-resin). Bei Hunden mit Gallenfisteln konnten Mackenzie und Dixon[7]) nach subkutaner Injektion von Podophyllharz (Podophyllo-resin) eine Steigerung der Gallensekretion wahrnehmen, nach Injektion von Podophyllotoxin aber nicht, es trat hierbei sogar eine Verminderung derselben ein. Folgende

---

[1]) Loewenton, A., Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss einiger Abführmittel. Inaug.-Diss. Dorpat 1891.

[2]) Zwicke, G, Die wirksamen Bestandteile der Convolvulaceen. Inaug.-Diss. Halle 1869.

[3]) Magnus, R., Ergebnisse der Physiologie. Bd. 22. S. 661.

[4]) Neuberger, Arch. f. exp. Pathologie und Pharmakologie. Bd. 28. 1891. S. 32.

[5]) Spindler, Ueber Podophyllotoxin, ein Beitrag zur Lehre von den Abführmitteln. Inaug.-Diss. Jurgew. 1893.

[6]) Dixon, Hypodermic purgatives. Bit. med. Journ. 1892 nach Magnus, Ergebnisse der Physiologie. Bd. 2. S. 661.

[7]) l. c.

zwei Kurven mögen die Wirkung beider Substanzen nach subkutaner Injektion von je 0,032 g auf die Gallensekretion zweier Gallenfistelhunde besser veranschaulichen.

Bei einem Manne mit Gallenblasenfistel konnte Brain[1]) bei gleicher Diät nach der Einnahme von 0,03 g Podophyllharz (Podophyllo-resin) eine Steigerung der Gallensekretion beobachten, nicht bei Podophyllotoxin, sondern sogar eine Verminderung derselben, sowohl an Menge als auch an festen Bestandteilen. Folgende Tabelle erläutert wohl am besten das Resultat der Bainschen Versuche.

Datum	Gallenmenge	Spez. Gew.	Trocken-rückstand	
20. Jan.	670	1012	15,109	Normal
21. Jan.	710	1013	18,857	0,026 g Pdr.
22. Jan.	779	1012	18,571	0,039 g Pdr.
23. Jan.	817	1010	—	Normal
24. Jan.	774	1008	15,348	Normal
25. Jan.	758	1008	14,311	0,039 g Pdt.
26. Jan.	700	1008,5	13,944	—

Pdr. = Podophyllo-resin.
Pdt. = Podophyllotoxin.

[1]) Brain, Brit. med. Journ. Bd. 1. 1898. S. 1647.

Für die therapeutische Anwendung des Podophyllins und Podophyllotoxins kommt lediglich nur diejenige per os in Betracht, da die subkutane Injektion nicht immer zu dem gewünschten Erfolge führt und ausserdem noch hochgradige Reizerscheinungen an der Applikationsstelle aufzutreten pflegen, wie sie Spindler (l. c.) in drei Fällen beobachtete. Ellenberger[1]) hatte bei Pflanzenfressern nach subkutaner Anwendung des Podophyllins und Podophyllotoxins bezüglich der Purgierwirkung nur negative Erfolge. Dagegen starben zwei Pferde nach der Injektion von 1—2 g Podophyllin am 5. Tage unter den Erscheinungen einer Lähmung der hinteren Extremitäten und der Vasomotoren des Hinterleibes, der Harnblase und des Darmkanals. Ein kleiner 2 kg schwerer Hund starb nach subkutaner Injektion von 0,001 g Podophyllotoxin unter bedeutendem Absinken der Innentemperatur und Lähmungserscheinungen. Bei Schafen traten nach einer Verabreichung von 0,008—0,02 per os keine Darmwirkungen hervor. Aus den von Baum[2]) angestellten Versuchen geht hervor, dass beide Mittel als rektal zu injizierende Abführmittel bei unseren Haustieren Pferd, Hund und Ziege keine Bedeutung besitzen. Die angewandten hohen Dosen von 4 g Podophyllin riefen, ohne eine deutliche und einwandsfreie Abführwirkung zu entfalten, in der Regel hämorrhagische Darmentzündung hervor. In einigen Fällen beobachtete Baum eine ausgesprochene Lähmung des Afters und der Harnblase, die sich dadurch äusserte, dass die Tiere mehrere Stunden hindurch Harn kontinuierlich in kleineren Mengen abfliessen liessen. Nach einer rektalen Injektion von 4 g Podophyllotoxin in 200 g 93 % Alkohol sah er eine so heftige hämorrhagische Darmentzündung auftreten, dass das Pferd am 5. Tage nach der Applikation starb. Bei dieser rektalen Anwendung ist aber nicht nur das Podophyllin oder Podophyllotoxin für die Wirkung allein in Betracht zu ziehen, sondern es spielt auch der von Baum in so grossen Mengen (200 g) verwendete Alkohol eine Rolle. Es kann ja schon eine rektale Injektion von 200—250 g 93 % Alkohols allein genügen den Tod eines Pferdes herbeizuführen unter den Erscheinungen

---

[1]) Ellenberger, Die subkutane Applikation von Abführmitteln bei Haussäugetieren. Arch. f. wissenschaftl. und prakt. Tierheilkunde. Bd. 13. 1887. S. 1.

[2]) Baum, Ueber die abführende Wirkung des Podophyllin, Podophyllotoxin und Barbaloin. Arch. f. wissenschaftl. und prakt. Tierheilkunde. Bd. 24. 1898. S. 267.

einer hämorrhagischen Dickdarmentzündung.[1]) Es kommt also für die Therapie lediglich nur die Anwendung per os in Frage.

Um die Wirkung mancher Abführmittel zu erhöhen, wurde versucht sie mit Sapo medicatus zu kombinieren. Es ist ja praktisch sichergestellt, dass z. B. Jalapenseife stärker abführend wirkt, als die reine Jalape selbst. Wie Dombrowski[2]) zeigte, wirkt aber die Kombination von Sapo medicatus und Podophyllotoxin weniger abführend, als letzteres allein. Obwohl Sapo medicatus ja eine neutrale Seife darstellt, so scheint doch dabei Podophyllotoxin mehr oder weniger zersetzt zu werden. Auch die Kombination mit gallensauren Salzen ist nicht imstande die Wirkung des Podophyllotoxins zu verstärken.

Beide Mittel gibt man am besten in Pillenform oder als Tinktur, auf Zucker zu nehmen. Beim Menschen wirken sie auffallend langsam, zum mindesten dauert es 12, häufig aber 24 bis 36 Stunden ehe die purgierende Wirkung eintritt, die dann allerdings eine sehr nachhaltige ist.

Bei Spindler[3]) wurde das Oxyhaemoglobin im Rinder-, Katzen- und Hundeblut durch die Einwirkung seines Podophyllotoxins in Methaemoglobin übergeführt. Im Menschen-, Katzen-, Kaninchen- und Taubenblut konnte ich eine solche Veränderung des Oxyhaemoglobins, sogar mit bedeutend grösseren Mengen meines Podophyllotoxins, nicht erzielen.

In noch sehr kleinen Dosen wirkt Podophyllotoxin auf Fische tödlich. Zu diesen Versuchen verwendete ich kleine Barsche (Perca fluviatilis). Diese wurden in 3 l frisches Leitungswasser gebracht und dem Wasser Podophyllotoxin in 1% alkoholischer Lösung verschiedener Menge hinzugefügt.

1. Fisch von 32 g kommt in 3 l Wasser + 0,01 g Podophyllotoxin.
   Nach 3 Stunden schwimmt der Fisch auf dem Rücken.
   Nach 8 Stunden ist der Fisch tot.
2. Fisch von 48 g kommt in 3 l Wasser + 0,02 g Podophyllotoxin.
   Nach 8 Stunden schwimmt der Fisch auf dem Rücken, die Kiemdeckel bewegen sich schwach.
   Nach 11 Stunden ist der Fisch tot.

---

[1]) Baum, Ueber die Giftigkeit des Alkohols bei rektaler Injektion. Arch. f. wissenschaftl. und prakt. Tierheilkunde. Bd. 23. 1897. S. 408.

[2]) Dombrowski, J., Experimentelle Untersuchung über den Einfluss einiger Abführmittel. Inaug.-Diss. Dorpat 1891.

[3]) Spindler (l. c.).

3. Kontrollversuch:
   Fisch kommt in 3 l Wasser + 1,5 ccm 96 % Alkohol.
   Nach 24 Stunden lebt der Fisch noch.
4. Fisch von 107 g kommt in 3 l Wasser + 0,15 g Podophyllotoxin.
   Nach 4 Stunden schwimmt der Fisch auf der Seite und ist nur sehr wenig berührungsempfindlich, er kommt in frisches Wasser.
   Nach 6 Stunden ist der Fisch tot.
5. 2 Fische von 80 und 60 g kommen in 3 l Wasser + 0,15 g Podophyllotoxin.
   Nach 4 Stunden sind beide Fische tot.
6. Kontrollversuch:
   Fisch von 85 g kommt in 3 l Wasser + 15 ccm 96 % Alkohol.
   Nach 24 Stunden ist keinerlei Veränderung zu erkennen.

Es wirkt also Podophyllotoxin noch in einer Verdünnung von 1 : 300000 (Versuch 1) auf kleine Fische tödlich.

Zu meinen folgenden Versuchen verwendete ich:

Podophyllinum purissimum Merck (Vers. 1—4).

Podophyllotoxin, nach der Methode von Podwyssotzki aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt (Vers. 5—7).

Podophyllotoxin, nach der Methode von Kürsten aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt (Vers. 8—13).

Podophyllotoxin, nach der Methode von Kürsten aus dem Rhizoma Podophylli Emodi dargestellt (Vers. 14—15).

Die Darstellungsweise der einzelnen Präparate habe ich im chemischen Teil dieser Arbeit ausführlicher besprochen. Das Mittel wurde ausschliesslich in einer 1 % Alkohollösung subkutan injiziert, nur in Versuch 11 und 12 wurde es ausserdem noch in Pillenform per os verabfolgt. Als Versuchstier benutzte ich die Katze, da sie, wie frühere Versuche ergaben, das geeignetste Tier hierzu darstellt. Bei Fröschen blieben Dosen von 0,01 g per os, als auch subkutan wirkungslos.

Versuch 1.

Einer 2,9 kg schweren Katze wird 0,005 g des amorphen Podophyllinum purissimum Merck, in einer 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

14. November.

11^{30} Injektion.

1^{00} Erbrechen von Speiseresten.

4^{00} Das Tier ist matt, Erbrochenes mit viel galligem Schleim im Käfig.

15. November.

9^{00} Die Katze säuft Milch.

3^{00} Das Tier ist munterer als am Vortage, der Urin ist frei.

16. November.

10^{00} Eine 2. Injektion von 0,005 g Podophyllinum purissimum.

5^{00} Katze ist sehr munter; weichgeformter Stuhl, Erbrechen von galligem Schleim.

17. November.

9^{00} Keine Veränderung zu bemerken, keine Darmentleerung, noch Erbrechen.

5^{00} Schleimiger Stuhl. 3. Injektion von 0,02 g Podophyllinum purissimum.

18. November.

10^{00} Katze liegt auf der Seite im Käfig, kann nur auf den vorderen Extremitäten stehen, schlaffe Parese der hinteren.

5^{00} Liegt vollständig apathisch auf der Seite, die Atmung ist beschleunigt, der Urin enthält Albumen.

19. November.

12^{30} Status idem, blutiger Urin.

20. November.

Morgens liegt die Katze tot im Käfig.

Sektion: An der Injektionsstelle keine Abscessbildung. Magen und Darm leer, im Ende des Dickdarms harte Kotmassen, darüber eine helle Flüssigkeit. An der Schleimhaut des Magens und des Darms nichts besonderes. Papilla duodeni angeschwollen, Dünndarm und oberer Teil des Dickdarms mit galligem Schleim belegt. Die Blase ist mit schwarzbraunem Urin gefüllt, der Methaemoglobinstreifen zeigt. An einer zirkumskripten Stelle zeigt sich ein Defekt von roter Farbe. Niere, Leber, Herz, Milz und Lunge zeigen unter dem Mikroskop dasselbe Bild wie Organe von Tieren derselben Spezies. Die Harnblase lässt an einer Stelle Epitheldefekt, epithelial-submuköse Haemorrhagie und ödematöse Schwellung des Submukosa erkennen. (Vergl. Figur Nr. 1 auf Tafel 3).

Versuch 2.

Eine 3 kg schwere Katze bekommt 0,03 g Podophyllinum purissimum Merck in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

20. November.

4^{15} Injektion.

4^{45} Erbrechen von Mageninhalt.

21. November.

10^{00} Die Katze liegt matt im Käfig, nimmt keine Nahrung zu sich, keine Darmentleerung.

3^{15} Die Mattigkeit hat zugenommen, das Tier liegt auf der Seite und kann sich nicht aufrichten.

5^{00} Tod im Koma.

Sektion: An der Injektionsstelle zeigt sich keine Abscessbildung. Der Magen ist leer und die Schleimhaut desselben normal. Der Darm, besonders im

oberen Duodenum, ist fleckig gerötet und schleimig belegt. Die Blase ist mit wenig klarem Urin gefüllt. An dem mit Formol fixierten, in Alkohol gehärtetem und nach van Gieson gefärbten Darmpräparat zeigt sich, dass das Epithel, besonders an den Spitzen der Zotten, fehlt, und dass die Zottenspitzen eine leichte Nekrose aufweisen, starke Hyperämie der Venen und submuköse Hämorrhagie.

Versuch 3.

Eine 2,5 kg schwere Katze erhält 0,02 g Podophyllinum purissimum Merck in 1 % alkoholischer Lösung subkutan injiziert.

24. November.

4^{30} Injektion.

4^{45} Erbrechen, kein Stuhl.

25. November.

Katze ist munter, säuft Milch und frisst.

26. November.

Das Tier ist munter und zeigt keine Erscheinungen.

27. November.

4^{00} 2. Injektion von 0,02 g Podophyllin.

28. November.

10^{00} Parese der hinteren Extremitäten, das Tier ist sehr matt, liegt auf der Seite.

5^{00} Tod im Koma.

Sektion: Die Leber ist sehr blutreich, die Blase mit klarem Urin gefüllt. Der Magen an einer zirkumskripten Stelle des Fundus gerötet, der Darm, besonders das Duodenum zeigt weisse, schmierige Beläge.

Versuch 4.

Einem 9 kg schweren Hunde wird 0,02 g Podophyllinum purissimum Merck subkutan injiziert.

28. November.

5^{00} Injektion.

29. November.

9^{30} Breiige Darmausleerungen im Käfig, der Hund ist munter.

Ebenso an den folgenden Tagen breiige Entleerungen, der Hund ist munter und säuft und frisst. Nach 3 Tagen sind die Stühle geformt und normal, der Versuch wird abgebrochen, der Hund aus dem Käfig gelassen.

Versuch 5.

Einer 2,75 kg schweren Katze wird 0,01 g Podophyllotoxin Podwissotzki, aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

8. Dezember.

7^{00} Injektion.

9. Dezember.

Keine Darmentleerung noch Erbrechen.

12. Dezember.

5^{00} Die Katze liegt apathisch im Käfig, leichte Koordinationsstörungen der hinteren Extremitäten.

2. Injektion von 0,01 g Podophyllotoxin.

13. Dezember.

6^{00} Die Koordinationsstörungen der hinteren Extremitäten haben zugenommen.

15. Dezember.

9^{00} Die Katze liegt tot im Käfig.

Sektion: Die Injektionsstellen zeigen keine Abscessbildung. Der Magen ist leer, der Darm schmierig belegt, im unteren Teil harter Stuhl, die Blase mit klarem Urin gefüllt. Die mikroskopische Untersuchung der mit Formol fixierten, in Alkohol gehärteten und mit Hämatoylin-Eosin gefärbten Dickdarmpräparate ergibt deutliche Nekrose und Geschwürsbildung an den Zotten. Es findet sich ein gegen die Schleimhaut stark abgesetztes Geschwür, das bis zur Submucosa reicht. Der Boden wird gebildet von nekrotischem Gewebe, das reichlich mit ein- und mehrkernigen Zellen durchsetzt ist. Die Gefässe der Umgebung sind stark gefüllt. Anzeichen ob das Geschwür aus einer Blutung in die Schleimhaut hervorgegangen ist, sind nicht mehr zu sehen.

Versuch 6.

Eine 2,3 kg schwere Katze erhält 0,005 g Podophyllotoxin Podwyssotzki, aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

16. Januar.

5^{00} Injektion.

17. Januar.

8^{00} Erbrechen und dünnbreiiger Stuhl, keine Störungen der Extremitäten.

18. Januar—20. Januar.

Das Tier zeigt keine Erscheinungen.

21. Januar.

5^{00} Breiiger Stuhl.

23.—24. Januar.

Keine Veränderung.

25. Januar.

3^{35} Die Katze bekommt eine 2. Injektion von 0,01 g Podophyllotoxin.

26. Januar.

11^{00} Das Tier liegt auf der Seite im Käfig, beim Gehen werden die hinteren Extremitäten nachgeschleppt, Parese derselben, zeitweise Koma.

27. Januar.

Des Morgens liegt die Katze tot im Käfig.

Sektion: Im Magen-Darmtraktus wenig festbreiiger Inhalt; die Schleimhaut ist absolut glatt.

Versuch 7.

Einer jungen Katze wird 0,02 g des Aetherrückstandes nach der Darstellung Podwyssotzki in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

29. Januar.
5⁰⁰ Injektion.

30. Januar.
Am Morgen liegt die Katze schon tot im Käfig.

Sektion: Die Schleimhaut des Magens, besonders an der grossen Kurvatur und der Dickdarm von der Klappe an abwärts, waren stark gerötet; wenig war die Rötung im Dünndarm ausgebildet. Mikroskopisch: Im Dickdarm stark gefüllte kleine Venen in der Submukosa, sehr reichliche Becherzellen. Die Gefässe der Niere, besonders die kleinen der Papille und die Grenzschicht von Rinde und Mark, sehr blutreich. Die Gefässe der Glomeruli auch blutreich, die Epithelien der Tubili gut erhalten. In der Umgebung einiger Arteriolae ascendentes finden sich Häufchen roter Blutkörperchen frei im Gewebe liegend, die teils das lockere Bindegewebe auseinandergedrängt haben, teils sich in die benachbarten Harnkanälchen vordrängen.

Versuch 8.

Einer 3,85 kg schweren Katze wird 0,01 g Podophyllotoxin Kürsten, aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

16. Februar.
4⁰⁰ Injektion.

17. Februar.
11⁰⁰ Schleimig Erbrochenes im Käfig, der Urin enthält Albumen.

18. Februar.
Keine Veränderung.

19. Februar.
11⁰⁰ Die Katze erhält eine 2. Injektion von 0,0075 g Podophyllotoxin subkutan.

20. Februar.
Morgens liegt das Tier tot im Käfig.

Sektion: Gewicht 3,2 kg. Der Magen ist fast leer, nur wenig blutiger Inhalt, gerötet. Der Dünndarm ist mit flüssigem, hellbraunen Inhalt angefüllt und stark gerötet, der Dickdarm zeigt zirkumskripte rote Stellen.

Mikroskopisch: Niere in einigen Glomeruli leichte Kapselexudate, an der Grenze zwischen Rinde und Mark Kapillaren stark gefüllt. Unterer Dünndarm: Viel Becherzellen, die Venen an umschriebenen Stellen der Submucosa und Mucosa strotzend gefüllt, keine Blutauftritte. Dickdarm: Blutung in Submucosa und Mucosa, in der Umgebung stark erweiterte Venen, Blutung ins Lumen des Darmes nicht zu sehen.

Versuch 9.

Einer 3,44 kg schweren Katze wird 0,01 g Podophyllotoxin Kürsten, aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

5. Februar.

11^{00} Injektion.

6^{00} Die Katze liegt matt im Käfig.

6. Februar.

9^{00} Der Tod trat in der Nacht ein.

Sektion: Der Magen ist mit Blut gefüllt und stark gerötet, der Darm, besonders der Dickdarm, zeigt kleine, punkt- und strichförmige Blutungen. Mikroskopisch: Die Spitzen der Schleimhautzotten des Magens sind blutreich und im Bereich der Blutung zeigen die Epithelien keine Kerne. Die Gefässe der tieferen Schichten zeigen nur starke Füllung, aber keine Blutung. In einem anderen Schnitt nicht nur nach dem Lumen zu, sondern direkt über der Basalmembran Blutungen; die oberste und tiefste Schicht der Schleimhaut ist hier blutüberfüllt und dazwischen eine weniger blutreiche. (Vergl. Figur 3, Tafel 4.) Der Dünndarm lässt ödematöse Schwellung der Submucosa, eine fast bis zur Muskularis reichende Haemorrhagie und Degeneration des Epithels erkennen. (Vergl. Figur 2, Tafel 2.)

Versuch 10.

Eine 3,2 kg schwere Katze erhält 0,01 g Podophyllotoxin Kürsten, aus Podophyllinum Merck dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

8. Februar.

4^{30} Injektion.

9. Februar.

11^{00} Die Katze liegt im Koma, in dem harten, schwarzen Stuhl lässt sich mikroskopisch wie chemisch Blut nachweisen.

10. Februar.

Tod in der Nacht

Sektion: Magen- und Dünndarm zeigen keine Besonderheiten. Im Coecum leichte diffuse Rötung; dieser Abschnitt mit dickem, schwarzem Stuhl gefüllt, der übrige Darm leer.

Versuch 11.

Ein kleiner 2,75 kg schwerer Hund bekommt 0,0025 g Podophyllotoxin Kürsten in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

8. März.

9^{30} Injektion.

9. und 10. März.

Keine Erscheinungen.

11. März.

9^{00} Feste Stuhlentleerung im Käfig.

6^{00} Der Hund bekommt 0,01 g Podophyllotoxin in Fleisch eingewickelt zu fressen.

12. März.

In der Nacht hat der Hund das Fleisch erbrochen.

13. März.

5^{00} Erbrechen.

14. und 15. März.

Keine Erscheinungen.

16. März.

10^{15} Der Hund erhält 0,01 g Podophyllotoxin in Fleisch gewickelt zu fressen.

4^{15} Erst feste, dann geformtweiche Stuhlentleerung. Bei der Defäcation wimmert das Tier laut auf, scheint grosse Schmerzen dabei zu haben.

17. März.

11^{15} Mehrere breiige Stühle im Käfig.

18. März.

Keine Veränderung.

12^{15} Der Hund erhält 0,02 g Podophyllotoxin in stark verdünnter alkoholischer Lösung mit der Schlundsonde.

19. März.

Schleimige, dünnbreiige Stühle im Käfig.

20. März.

11^{00} Der Tod tritt im Koma ein. Im Stuhl liess sich mikroskopisch und chemisch Blut nachweisen. Der Urin enthält granulierte Zylinder.

Sektion: In der Blase klarer Urin, der granulierte Zylinder enthält. Magenschleimhaut ist ohne Besonderheiten, der Dünndarm gegen das Ende leicht gerötet; punkt- und strichförmige Blutungen zeigt der Dickdarm, besonders stark in der Ampulle und im Rektum.

Versuch 12.

Eine kleine 2,1 kg schwere Katze bekommt 0,005 g Podophyllotoxin Kürsten, aus Podophyllinum purissimum Merck dargestellt, in Pillenform per os.

8. März.

5^{00} Fütterung der Pille in Fleisch eingebettet.

9. März.

9^{00} Breiiger Stuhl im Käfig.

10. März.

Keine Erscheinungen.

11. März.

4^{00} Dünnbreiiger Stuhl.

12.—15. März.

Keine Erscheinungen.

16. März.

4^{00} Subkutane Injektion von 0,005 g Podophillotoxin.

17. März.

11^{30} Kein Stuhl, noch Erbrechen. Parese der linken, hinteren Extremität, beim Versuch zu Gehen wird diese nachgeschleppt und das Tier fällt immer auf die kranke Seite.

18. März.

12^{00} Die Lähmung der linken, hinteren Extremität ist nicht mehr so stark wie am Vortage, geringe Ataxie.

19. März.

5^{00} Ataxie beider Hinterextremitäten.

20. März.

11^{00} Die Katze ist sehr schwach, die beiden hinteren Extremitäten vollständig paretisch. Im Verlaufe des Tages nimmt die Schwäche des Tieres zu, es liegt apathisch auf der Seite.

21. März.

9^{00} In der Nacht verendete das Tier.

Sektion: Gewicht 1,50 kg. Die Blase ist leer, der Magen mit flüssigem Inhalt gefüllt, sonst keine Besonderheiten, Dünndarm leer, gegen Ende leicht diffus gerötet. Der Dickdarm ist mit harten Kotballen angefüllt, Ampulle und Rektum zeigen zahlreiche, kleine punktförmige Blutungen.

Versuch 13.

Einer 3,85 kg schweren Katze wird 0,01 g Benzolrückstand nach der Darstellung Kürsten subkutan injiziert.

13. Februar.

11^{45} Injektion.

5^{00} Dünnbreiiger Stuhl, Katze ist unruhig.

14. Februar.

5^{00} Kein Stuhl, noch Erbrochenes im Käfig.

15. Februar.

11^{00} Flüssiger Stuhl.

16. Februar.

10^{00} Keine Veränderungen an der Katze.
Der Versuch wird abgebrochen.

Versuch 14.

Eine 2,2 kg schwere Katze erhält 0,01 g Podophyllotoxin Kürsten, aus dem Rhizom von Podophyllum Emodi dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

25. September.

11^{50} Injektion.

26. September.

9^{00} Mehrere geformtweiche Stühle im Käfig. Die Katze zeigt grosse Schwäche, liegt auf der Seite.

27. September.

10^{00} Stadus idem.

28. September.

5^{00} Die Katze nimmt keine Nahrung; keine Stuhlentleerung, noch Erbrechen.

29. September.
6^{00} Tod.

Sektion: Magen und Dünndarm leer, Dickdarm mit sehr hartem Stuhle angefüllt. Magen ohne Besonderheiten, Dünndarm, besonders im mittleren und unteren Drittel stark fleckig gerötet. Mikroskopisch: Die Gefässe der Submucosa sind stark erweitert und hyperämisch, die Submucosa zeigt eine ödematöse Schwellung, die Mucosa eine Haemorrhagie, bei stärkerer Vergrösserung kann man die grosse Zahl der Becherzellen erkennen, die bei der normalen Katze nicht so zahlreich aufzutreten pflegen. (Vergl. Figur 4 u. 5, Tafel 5.)

Versuch 15.

Einer 2,5 kg schweren Katze wird 0,01 g Podophyllotoxin Kürsten, aus dem Rhizom von Podophyllum Emodi dargestellt, in 1 % Alkohollösung subkutan injiziert.

25. September.
11^{50} Injektion.

26. September.
9^{00} Mehrere breiige Darmentleerungen im Käfig, die Katze liegt auf der Seite und ist sehr schwach.
8^{00} Tod.

Sektion: Der Magen zeigt keine Besonderheiten, der ganze Dünndarm dagegen eine starke, diffuse Rötung.

Ebenso wie Stadelmann[1]) konnte ich bei keinem der Versuche aseptische Abscessbildung, wie sie Neuberger fand, an der Injektionsstelle beobachten. Das nach der Methode von Kürsten dargestellte Podophyllotoxin wirkte doppelt so stark wie das nach Podwyssotzki. Bei subkutaner, wie auch bei der Anwendung per os beobachtet man einige Stunden nach der Applikation Erbrechen, bei subkutaner Injektion tritt in vielen Fällen überhaupt keine purgierende Wirkung ein, bei anderen erst nach Ausstossung solider Fäcalmassen. Bei Hunden war nach Darreichung von 0,1 g Podophyllinum purissimum Merck per os stets Purgierwirkung vorhanden. Ich verabfolgte Podophyllin in der angegebenen Dosis Fistelhunden, denen Dauerfisteln nach der Methode Pawlow-Dastre angelegt waren. Die Metallkanülen waren seitenständig im Duodenum, unterhalb der Einmündung des Pankreasganges, angebracht. Mit dem Podophyllin gleichzeitig gab ich den Hunden 200 g Fleisch und konnte dabei stets die Beobachtung machen, dass mit den letzten Fleisch-

[1]) Stadelmann E., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Abführmitteln bei Gallenabwesenheit im Darm. Arch. f. exp. Pathologie und Pharmakologie. Bd. 37. 1896, S. 355.

breischüssen, nach 2 Stunden, grosse Klumpen weissen Schleims aus der Kanüle lief.

Bei subkutaner Injektion toxischer Dosen stand bei Katzen (Versuch 1—15) stets eine haemorrhagische Enteritis in dem Vordergrund. Zumeist und am stärksten pflegten die Rötungen am Dünndarm aufzutreten, seltener war die Enteritis mit einer Gastritis verbunden. Mikroskopisch konnte man eine starke Erweiterung der submukösen Gefässe, eine submuköse Schwellung und submuköse und muköse Haemorrhagieen beobachten. Das Vorhandensein der grossen Anzahl von Becherzellen, die sich durch die degenerativen Veränderungen aus den Epithelzellen umgewandelt haben, lässt mit Sicherheit auf eine Hypersekretion der Darmschleimhaut schliessen. Die erhöhte Schleimsekretion und die Hyperämie könnten zu einer stärkeren Erregbarkeit der automatischen Bewegungszentren der Schleimhaut, des Auerbachschen Plexus, und dadurch zu einer gesteigerten Peristaltik führen. Ob nun für die purgierende Wirkung des Podophyllins eine Hypersekretion allein, oder eine solche und eine verstärkte Peristaltik in Betracht zu ziehen ist, das soll Aufgabe einer späteren Arbeit sein, denn diese Frage ist nur durch Versuche an Fistelhunden, wie ich sie vorhabe, einwandsfrei zu beantworten.

Zum Schlusse fühle ich mich gedrungen, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Med.-Rat Professor Dr. Kobert meinen wärmsten Dank für die mir zuteil gewordene Anregung und Förderung meiner Arbeit auszusprechen.

Herrn Privatdozent Dr. Best, Leiter der experimentellen Abteilung des pathologischen Instituts, danke ich für die liebenswürdige Ueberlassung der Fistelhunde.

Literatur-Verzeichnis.

Abderhalden, E., Biochemisches Handlexikon. Bd. 7, I. Berlin 1911. S. 257.

Adolphus, J., Podophyllin. Med. u. Surg. Reporter, Philad. Bd. 16. 1867. S. 438—440.

Allen, H., Americ. Journ. of Pharmacy. Mai 1859. S. 206.

Anstie, F. E., Report of Physiolog. Action of Podophyllin. Medic. Tim. and Gaz. Lond. Jg. 1863. 1. S. 326, 487.

Apothekerzeitung. Nr. 24. 1912. S. 223.

Babington, Dublin Quart. Journ. Bd. 36. 1863. S. 248.

Baillon, H., Podophyllum botanique. Dict encycl. d. sc. méd. Paris. Bd. 26. 1888. S. 372—374.

Bantley. Pharmac. Journ. a. Transact. 1861—1862. S. 456.

Barkas, W. J., A case of accidental poisonning in an infant recovery. Australas. M. Gaz. Sydney. 1883. S. 236.

Barthlon, Materia medica. London 1878. S. 470.

Barton, Collections for an Ess. on Mat. Medic. of U. S. Philadelphia 1798. S. 31.

Baum, Ueber die abführende Wirkung des Podophyllin, Podophyllotoxin und Barbaloin. Arch. f. wissensch. u. prakt. Tierheilkunde. Bd. 24. 1898 S. 267.

Beilstein, Handbuch der organischen Chemie. III. Aufl. Bd. 3 1897.

Bennet, Dublin Quart. Journ Jg. 1869. British med. Journ. 1869.

Bennet, Reinheit einiger elektischer Mittel. Pharm. Journ. a. Trans Bd 18. Ser. III. 1887—1888. S. 895.

Berringer, Podophyllin Resin. The Pharm. Journ. a. Trans. Bd. 24. 1893—1894. S. 624.

Biddle, Americ. Journ. of Pharmacy. Bd. 51. 1879. S. 543—545.

Blondeau, Sur la podophylline et son mode d'administration. Bull. gén. de thérap. Paris. Bd. 67. S. 172—174.

Boas, J., Diagnostik u. Therapie der Magenkrankheiten. Leipzig 1911. S. 348.

Brain, Brit. med. Journ. Bd 1. 1898. S. 1647.

Brasche, Oscar, Inaug.-Diss. Dorpat 1891. Ueber die Verwendbarkeit der Spektroskopie zur Unterscheidung der Farbenreaktionen der Gifte im Interesse der forensischen Chemie.

Brown, Henry, The Pharm. Journ. and Trans. Bd. 9. III. Jg. 1878—1879. S. 166.

Brun, O., Arch. d. Kinderheilkunde. Bd. 2. 1881. Ueber die Verwendbarkeit des Podophyllins u. Podophyllotoxins in der Kinderheilkunde. S. 209—235.

Buchheim, R., Ueber die scharfen Stoffe. Arch. der Heilkunde. Bd. 13. 1872. S. 14. Wittsteins Vierteljahrsschrift. Bd. 22. S. 451.

Bufalini, G., Sull' uso terapeutico del Podofillino. Le Sperimentale. Bd. 49. 1877. S. 185.

Burnett, J. Fr., Ueber Resina Podophylli. Ztschr. d. allg österr. Apothekerver. 41. S. 426. Chem. Zent. 1887. S. 1234.

Busch, William Charles A., The Constituents of Podophyllum peltatum. Americ. Journ. of Pharm. Bd. 49. 1877. S. 548.

Cadbury, W., Americ. Journ. of Pharmacy. Juli 1858. S. 301.

Catesby, Natur. hist. of Carolina. I. 1731. S. 24.

Castle, Lewis, Pharmazeutische Zeitung. Jg. 32. 1887. Nr. 55. S. 391.

Charter, Benjamin F., Pharm. Journ. and Trans. Bd. 17. 1886. S. 105.

Chesnut, V. K., Preliminary Catalogue of Plants Poisonous to Stock. 1898. S. 402.

Clark, Med. Times and Gazette. Jg. 1863. S. 55.

Corput, van den, Le podophyllum et la podophylline, étude sur les propriétés et sur l'action thérapeutic de ces substances. Bull. gén. de thérap. Paris 1864. S. 501—510.

Cowie u. Dickson, Pharm. Journ. and Trans. Bd. 22. 1905. S. 220—221. Ref. Chem. Zent 1906, 1, 1. S. 111, 1.

Crist, D. O., The therapeutic application of the resinoid „podophylli" or podophyllin. Ohio M. Recorder. Columbus. Bd. 4. 1879—1880. S. 191—195.

Credner, T., Ueber Podophyllin. Inaug.-Diss. Giessen 1869.

Cushney, Pharm. Journ. and Pharmacist. Bd. 89. 1912. S 579.

Da-Venezia, P., Della podofillina e désuoi effetti. Gior. Veneto di sc. med. Venedig. Bd. 2. 1885. S. 116—122.

Death from podophyllin. Med. u. Surg. Reporter Phila. Bd. 19. 1868. S. 308.

Delannes, J., Étude botanique, chimique et pharmacologique des plantes du genre podophyllum. Montpellier. 1889.

Delpech, E., Du podophyllin. Gaz. méd. de Paris. 1873. S. 288. Bulletin général de Thérap. med. 1874. S. 167.

Dey, Kanny Lall, The Indigenous Drugs of India. Calcutta 1896. S. 251.

Dobell, H., The Pharm. Journ. and Trans. Bd. 9. III. Ser. 1878—1879. S. 1056.

Dohme, A. B. u. Engelhardt, H., The fatty oil of mandrake (Podophyllum pelt.) Proc. Am. Pharm. Ass. Balt. Bd. 52. 1904. S. 340—345.

Dombrowski, J., Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss einiger Abführmittel. Inaug.-Diss. Dorpat 1891.

Dorwoult, L'officine de Pharmacie practique. Paris 1880. S. 1372.

Dott, B. B., The ammonia test for podophyllin. Merck's Rep. N. Y. Bd. 16. 1906. S. 10. The Pharm. Journ. and Trans. Bd. 23. 1906. S. 431. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 72. 1904. S. 84. Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 23. 1892. S. 207 u. 440.

Draggendorff, G., Die gerichtlich-chemische Ermittelung von Giften. IV. Aufl. Göttingen 1895. S. 345.

Dudley, Fatal podophyllin poisoning. Medic. Record. Jg. 1890. 12. April. S. 409.

Duffield, Proceed. of the Americ. pharm. Society. 1869.

Dulácska, G., A podophillin hatásáról. (Podophyllinwirkung) Gyógyászat, Budapest. Bd. 23. 1883. S. 161—164.

Dunstan, W. D., Pharm. Journ. and Trans. 1895. S. 505.

Dunstan, W. B. u. Henry, T. A., A chemical investigation of the constituents of Indian and American Podophyllum. Journal of the Chemical Society. (Transactions.) Bd. 73. 1898. S. 209—226.

Dyes, Practitioner 1874. S. 29.

Dymock, W. u. Hooper, D., Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 20. 1889. S. 585.

Ellenberger, Die subkutane Applikation von Abführmitteln bei Haussäugetieren. Arch. f. wissenschaftl. u. prakt. Tierheilkunde. Bd. 13. 1887. S. 1.

Flückiger u. Hanbury, Pharmacographia, a History of Drugs. London 1874. S. 35—37.

Flückiger u. Hanbury, Histoire des drogues d'origine végétal. Paris 1878. Teil 1. S. 90.

Ford, C., Gardeners Chronicle. 29. Juli. S. 77. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 15. 1884—1885. S. 84.

Ford u. Crow, Notes of Chinese Materia Medica. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 18. Ser. III. 1887—1888. S. 341.

Forster, E. W., The action of podophyllin. Pharm. Journ. and Trans. Bd. 9. 1878—1879. S. 976.

Fröhner, Eugen, Lehrbuch der Arzneimittellehre für Tierärzte. 6. Aufl. Stuttgart 1903. S. 470—471.

Fröhner, Eugen, Lehrbuch der Toxikologie für Tierärzte. 2. Aufl. 1901.

Gadamer, Lehrbuch der chemischen Toxikologie und Anleitung zur Ausmittelung der Gifte. Göttingen 1909. S. 425.

Gardener u. Ramskill, Lancet. Bd. 1. Jg. 1862. S. 209 u. S. 286.

Garrot, The Essentials of Mat. Med. and Therap S. 264.

Geissler u. Moeller, Real-Enzyklopädie der gesamten Pharmazie. Bd. 10. 1908. II. Aufl.

Gordin u. Merrel, Assay of Podophyllum Resin. Pharm. Journ. and Trans. 4. Okt. 1902. S. 335.

Gravillu. Sage, Podophyllum Resina. Pharm. Journ. and. Trans. 1893—1894. S. 421.

Guareschi, Acad. d. Lincei. 1879. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft. 1879. S. 683. The British medical Journ. 1880. S. 579. Gazetta chim. ital. Bd. 10. S. 16—20.

Habershon, S. O., Notes of several cases in which podophyllin was used as a purgative. Guy's Hosp. Rep. London 1862. S. 120—126.

Hammen, Nachweis von Podophyllin. Journal de Pharmacie. Jg. 42. 1886. S. 442. Archiv d. Pharmazie. III. Reihe. Bd. 24. 1886. S. 223.

Hance, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 14. Ser. III. 1883—1884. S. 504.

Harrod, Med. Tim. a. Gaz. 1864.

Hodgson, Journ. of the Philadelphia College of Pharmacy. Bd. 8. 1832. S. 273.

Hooper, David, Podophyllum Emodi. Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 23. Ser. III. 1892—1893. S. 400.

Hudson, R. T., On the action and use of podophyllin. Austral. M. J. Melbourne. Bd. 5. 1860. S. 270—273.

Husband, Thos. J., Americ. Journ. of Pharm. Mai 1869. S. 200.

Husemann, A. u. Th., Jahresbericht über die Fortschritte der Pharmacognosie, Pharmazie und Toxikologie. Jahrg. 13. 1878. Pflanzenstoffe 1871. S. 1126.

Hutchinson, Severe ulceration of corneoe caused by the dust given of the Podophyllin-Root. Med. Times and. Gaz. Bd. 45. 1872. S. 516.

Ito, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 19. 1888. S. 346.

Kionka, Real-Enzyklopädie der gesamten Heilkunde. Bd XI. 1911. S. 918.

Kirtland, J. P., On the use of podophyllin and leptandrin as a substitute for mercurials in diseases of the digestine organs. Cleveland M. Gaz. Bd. 1. 1859—1860. S. 253—255.

Klerk, Med. Times a. Gaz. 1862. S. 10—13.

Klump, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 13. Ser. III. 1882—1883. S. 604.

Kobert, Lehrbuch der Intoxikationen. Bd. 2. 1906. S. 558.

Kobert, Lehrbuch der Pharmakotherapie. 1908. S. 569.

Kobert, Kompendium der praktischen Toxikologie. 1912. S. 5.

Köhler, Gazeta lekarska. 1879. Nr. 16.

Kremel, Pharm. Post. 17. Februar 1889. S. 105.

Kürsten, R., Arch. d. Pharmazie. Bd. 229. 1891. S. 220.

Labbeé, E., Podophyllum, applications thérapeutiques. Dict. encycl. de sc. méd. Paris. Bd. 26. 1888. S. 374—381.

Laycock, Med. Tim. a. Gaz. 1863. S. 53.

Lenier, A. u. Lowe, A. J. G., The colour of Podophyllum Resin. Pharm. Journ. and Trans. Ser. III. Bd. 8. 1877—1878. S. 443—444.

Lewin, Lehrbuch der Toxikologie. 2. Aufl. 1897. S. 249.

Lewis, J., Americ. Journ. of Pharm. Bd. 19. 1858. S. 165.

Lloyd, J. U., Resina of Podophyllum. Proceeding of the Am. Pharmaceutical Association. 1878.

Loewenton, A., Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss einiger Abführmittel. Inaug.-Diss. Dorpat 1891.

Lohmann, Pharmazeutische Zeitung. Jg. 1903. S. 842.

Mackenzie u. Dixon, The physiological action and therapeutic properties of podophyllin, with special reference to indian podophyllin. Edinb. med. Journ. N. S. IV. 5. Nov. 1898. S. 393.

Mader, Podophyllin. Wiener med. Blätter. 1879. II. S. 372.

Magnus, B., Ergebnisse der Physiologie. Bd. 2, II. S. 661.

Maisch, Americ. Journ. of Pharm. Bd. 51. Jg. 1879. S. 580—583. Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 10. 1879—1880. S. 621.

Marchant, G., Nouvelles recherches sur le podophyllin. Bullet. gén. de thérap. Bd. 87. 1874. S. 164—173.

Marston u. Lisson, Lancet. Januar 1864.

Martin, S., Podophylline, principe actif du podophyllum pelt., ses propriétés. Bull. gén. de thérap. Bd. 75. 1868. S. 300.

Mayer, T., Americ. Journ. of Pharm. Bd. 35. 1863. S. 97—100.

Müller, O., Ueber den Einfluss einiger pharmakologischer Mittel auf die Sekretion der Galle. Inaug.-Dissert. Dorpat 1890.

Moran, J. T., A research on Podophyllum peltatum. Merck's Rep. N. Y. Bd. 12. 1903. S. 218.

Neuberger, Arch. d. exp. Pathologie u. Pharmakologie. Bd. 28. 1891. S.32—40.

Neumann, Deutsche med. Wochenschrift. Jg. 1905. Nr. 5. S. 171.

Owen, D. C., Two cases of poisoning by the fruit of the Podophyllum pelt., or May-apple. Chicago M. Exam. Bd. 4. 1863. S. 389—391.

Parker, Notes on electic Remedies. Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 12. Ser. III. 1881—1882. S. 64.

Paschkis, H., Ueber Cholagoga. Wien. med. Jahrb. Jg. 1889. Nr. 2 u. 3. S. 159.

Paul, C., Formules pour l'emploi du podophyllia dans le traitement de la constipation habituelle. Bull. gén. de thérap. Paris 1873. S. 83.

Percy, S. R., Resina podophylli. Americ. M. Times N. Y. Bd. 4. 1862. S. 229, 243, 257.

Phillips, C. D. F., Podophyllum. Practitioner. Lond. Bd. 1871. S. 275—278. Mater. medic. a therap. Vegetable Kingdom. Lond. 1874. S. 28.

Pocklington, Henry, The Microscope in Pharmacy. Pharm. Journ. and. Trans. 1872—1873. S. 161.

Podwyssotzki, Bullet. commerc. de l'Union pharmac. Jg. 12. 1883. Nr. 6. S. 299.

Podwyssotzki, Pharmakologische Studien über Podophyllum pelt. Arch. f. exp. Pathologie u. Pharmakologie. Bd. 13. 1881. S. 29.

Podwyssotzki, Ueber die wirksamen Bestandteile des Podophyllins. Pharmazeutische Zeitschrift für Russland. Jg. 20. 1881. S. 49.

Power, Fred., Resina Podophylli. Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 5. Ser. III. 1874—1875. S. 244—245. Americ. Journ. of Pharm. 46. S. 227.

Power, Fred, Proceeding of the Americ. Pharm. 1877. S. 560. Americ. Journ of Pharm. Bd. 50. S. 369.

Prentiss, Philad. Medic. Times. Bd. 12. 1881—1882. S. 520.

Procters, Americ. Journ. of Pharm. Bd. 30. 1858. S. 508.

Ramskill, Med. Tim. a. Gaz. 1862. S. 10 u. 204.

Remington, Joseph P., The Practice of Pharmacy. III. Aufl. Philadelphia 1894. S. 955.

Ringer, Sydney, Handbook of Therapeutics. London 1869. S. 304.

Rivière, Gaz. de Hôp. 1876.

Rocca-Serra, De l'action malfaisante du podophyllin sur l'oeil par contact direct. Thèse de Paris. 1902. Rev. de thérap. méd. chir. Paris 1902. S. 541—550.

Rousselet, Pod. bei habit. Obstipation. Phil. Medical Times. Bd. 7. 1876—1877. S. 296.

Rutherford u. Vignal, An abstract of an experimental research on the physiological actions of drugs on the secretion of bile. Brit. med. Journal. 1875. 4. Jan. S. 3.

Saunders, The Dispensatory of U. S. A. 1894. S. 1068.

Schmidt, A., Klinik der Darmkrankheiten, 1. Teil. Wiesbaden. 1912. S. 160.

Schmidt, E., Aerztl. Intelligenzblatt. München. Nr. 13. 1866. S. 178.

Schneck, H., An experimental inquiry into the similarity in virtues between the Podophyllum pelt. and. Convolvulus jalapa. N. York M. u. Phys. Jour. Bd. 2. 1823. S. 30.

Schöpf, Mater. medic. Americ. 1787. S. 86.

Scoville, W. S., Pharm. Journ. and Pharmacist. Bd. 83. 1909. S. 479.

Singh, P., Chemist and Druggist. 18. Mai 1912. S. 120.

Smith, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 10. 1868—1869. S. 459—465.

Snow, Podophyllum p ltatum. New Idea. 1886. S. 486. Pharm. Zeitung. Jg. 31. 1886. Nr. 42. S. 321.

Southall u. Borclay, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 18. Ser. III. 1887—1888. S. 1045.

Spindler, Ueber Podophyllotoxin. Ein Beitrag zur Lehre von den Abführmitteln. Inaug.-Diss. 1893. Jurgew.

Squibb, Americ. Journ. of Pharm. Bd. 16. 1868. S. 1—10.

Stadelmann, E., Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung von Abführmitteln bei Gallenabwesenheit im Darm. Arch. f. exp. Path. und Pharmakologie. Bd. 37. 1896. S. 355.

Stewart, Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 19. 1889. S. 585.

Surreau, Aerztl. Sachv.-Zeitg. 9. 103. 1903.

Taylor, S., An Examination of resin of Podophyllin. Pharm. Journ. and. Trans. 11. Oktober 1902. S. 368.

Taylor, S., Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 27. 1907. S. 346—347.

Thompson, Americ. Journ. of Pharm. Mai 1890. S. 245.

Trousseau, Traité de Thérapeutique et de Matière Médical. 1875. Gaz. de Hôp. 1876.

Tuson, J. E., Remarks on the action of podophylline in hepatic degeneration. Indian Ann. M. Sc. Calcutta Bd. 10. 1865—1866. S. 74.

Umney, John C., Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 23. 1892—1893. S. 207 u. S. 440.

Umney, John C., Pharm. Journ. and. Trans. Bd. 87. 1911. S. 156.

Unverhau, Wilh., Ein Beitrag zur forensischen Chemie einiger stickstofffreier Pflanzenstoffe. Inaug.-Diss. Jurgew 1894. S. 71.

Vos, W. F., Over Podophylline. Akad. Proef. Utrecht 1864.

Wagemann, Die Verletzungen des Auges. Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde. 219—220. Lieferung. 2. Aufl. 1912. S. 1597.

Watt, G., Presidential Address in the Section of Pharmacology. Indian Medical. Congress 1894. Dictionary of the Economic Products of India, 6. Teil, I.

Waring, John, Pharmacopoeia of India. London 1868. S. 11.

Webster, D., A case of poisoning by contact of the powder of resin of podophyllum. New York medic. Record. 1877.

Williams, Joseph H., Note of Pod. Resin. Pharm. Journ. and. Trans. 14. Mai 1910. S. 608.

Willkomm, Twieding of the Americ. Pharm. 1877. S. 560.

Wood, G. B., Therap. and Pharmakology. Philadelphia 1868. 3. Aufl. Bd. II. S. 544.

Wood u. Bache, The Dispensatory of the U S. A. 13. Aufl. Philadelphia 1894. S. 1067—1070.

Wright, C. W., Peculiar effects of the root of the Podophyllum peltatum, or May apple and its alcoholic extract. West. Lancet Chincin, Bd. 13. 1852. S. 405.

Zebrowski, M., Przeglad lekarski. 1879. Nr. 12.

Zörnig, Arzneidrogen. I. Teil. 1909. S. 431.

Tafelerklärung.

Tafel III.

Fig. 1. Harnblase. Versuch 1.
E = Epithel. S = Submucosa. M = Muscularis.
H = Haemorrhagie.

Tafel IV.

Fig. 2. Dünndarm. Versuch 9.
Mc = Mucosa. M = Muscularis. S = Submocosa.

Fig. 3. Mucosa des Magens. Versuch 9.

Tafel V.

Fig. 4. Dünndarm. Versuch 14.
Mc = Mucosa. M = Muscularis. S = Submucosa.

Fig. 5. Dünndarm. Versuch 14.
Fig. 4 in stärkerer Vergrösserung.

[Aus dem physikalischen Institut der Universität Rostock.]

Ueber die Dispersion wässeriger Salzlösungen im sichtbaren Spektrum.

Von

Karl Grufki-Neustadt i. Meckl.

Mit Tafel 6.

Eingegangen bei der Redaktion am 30. Januar 1913.

Einleitung.

Im Zusammenhange mit den Untersuchungen, die im physikalischen Institut der Universität Rostock über die Eigenschaften von Lösungen[1]) angestellt werden, habe ich auf Veranlassung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller Dispersionsbestimmungen für wässerige Salzlösungen angestellt. Einen kurzen Ueberblick über die gewonnenen Resultate habe ich bereits in einer vorläufigen Mitteilung[2]) gegeben; eine genauere Darstellung der gesamten Untersuchungen soll in dieser Arbeit erfolgen.

Eine umfassende Darstellung der Untersuchungen über Brechungsindex und Dispersion sowie eine Literaturangabe bis 1907 findet sich in einer Abhandlung von Chéneveau[3]); viele der hier erwähnten Arbeiten sind aber darin mangelhaft, dass den Untersuchungen keine einheitliche Temperatur zugrunde gelegt ist, und dass vielfach exakte Konzentrationsbestimmungen bei den Angaben

[1]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **30**, pg. 877. 1909. Bd. **33**, pg. 145. 1910. Bd. **37**, pg. 739. 1912.

[2]) K. Grufki, Sitzungsber. u. Abhandlungen der Naturforschend. Gesellschaft zu Rostock. Bd. **4**, pg. 13. 1912.

[3]) C. Chéneveau, Ann. de Chimie et de Physique. Serie 8, Bd. **12**, pg. 145 u. 289. 1907. Serie 8, Bd. **21**, pg. 36. 1910.

der Brechungsindices fehlen. Eine Arbeit von Rubien[1]) über die Brechungsexponenten von Salzlösungen für das Natriumlicht zeigt einen grossen Fortschritt nicht nur in dieser Beziehung, sondern es ist hier auch zum ersten Male eine einfache Beziehung zwischen Brechungsvermögen und Dissociationsgrad in grösserem Umfange nachgewiesen worden. Diese Arbeit hat die Hauptanregung für meine Untersuchungen gegeben, durch welche die Lichtbrechung der drei Hauptwasserstofflinien: H_α, H_β und H_γ und damit die Dispersion im sichtbaren Spektrum an einer Reihe von Lösungen bestimmt wurde.

Meine Untersuchungen erstreckten sich auf Lösungen der:

Chloride	von	Li.	Na.		Rb.	Cs.
Bromide	„	Li.	Na.	K.	Rb.	
Jodide	„	Li.	Na.	K.	Rb.	
Fluoride	„				Rb.	NH_4.
Rhodanide	„	Li.	Na.	K.		
Nitrate	„	Li.			Rb.	

Ferner untersuchte ich das $Rb(SO_4)_{1/2}$ und $Sr_{1/2}ClO_3$ und konnte die Resultate von Rubien für HCl, $Mg_{1/2}Cl$ und $NaNO_3$ verwerten.

Von jedem Salz wurden vier Konzentrationen benutzt und zwar ungefähr 0,5, 1, 2, und 4fach Normallösungen; nur beim LiJ, LiCNS, $Rb(SO_4)_{1/2}$ und $RbNO_3$ wurde statt der 4fach die 3fach Normallösung untersucht. Alle Lösungen waren für andere Untersuchungen benutzt und hergestellt worden. Bei der Nachprüfung der Dichten ergab sich, dass sich Flaschen mit Korkstöpseln besser bewährt hatten als solche mit Glasstöpseln; will man aber die Konzentration einer Lösung längere Zeit konstant halten, so werden am besten Helmflaschen, die gut mit Fett gedichtet sind, verwendet.

Die Untersuchungstemperatur lag stets sehr nahe an 18°.

Dichtebestimmung.

Die Dichte der Rb- und Cs-Salzlösungen wurde von Herrn Prof. Dr. Heydweiller mit dem Senkkörper bestimmt; die Dichtebestimmung der übrigen Lösungen wurde teils mittels Pyknometer von Herrn Schubert, zum grössten Teile aber von mir

[1]) E. Rubien, Dissertation, Rostock 1911. Sitzungsber. u. Abhandlungen der Naturforschend. Gesellschaft zu Rostock. Bd. **3**, pg. 397. 1911.

selbst mit einer Analysenwage von Sartorius nach dem von Heydweiller[1]) angegebenen Verfahren ausgeführt.

Zwei Reagenzgläser, von denen eins die Lösung, das andere destilliertes Wasser enthielt, tauchten in ein Wasserbad von nahezu 18°; es wurde dann der Auftrieb eines Reimannschen Senkkörpers von fast genau 5 ccm nacheinander in der Lösung, im Wasser und wieder in der Lösung bestimmt. War die Zimmertemperatur etwas über 18°, so wurde das Bad vor der Untersuchung auf etwa 17,8° gebracht; nach der Wägung war es dann auf etwa 18,2° gestiegen, so dass das Mittel aus den beiden Wägungen in der Lösung für ein und dieselbe Temperatur und zwar meist mit grosser Annäherung für 18° gültig war, also für dieselbe Temperatur, wie die des Wassers bei der betreffenden Wägung. Für eine Zimmertemperatur etwas unter 18° war der Temperaturgang natürlich ein umgekehrter. Der Einfluss kleiner Temperaturänderungen während der Wägung wurde also auf diese Weise möglichst beseitigt, und da dieses Verfahren unmittelbar die Dichte bezogen auf Wasser von gleicher Temperatur ergibt, so haben kleine Temperaturschwankungen einen kaum merklichen Einfluss auf die Dichte. Das Resultat, durch die Korrektion: $-(s-1)\cdot 0{,}0012$ auf den luftleeren Raum reduziert, liefert die in den Tabellen angegebenen Werte.

Die durch ungleiche Benetzung des Platindrahtes, an dem der Senkkörper hing, entstehenden Fehler waren bei der geringen Dicke des Drahtes klein; wo sich aber trotzdem eine Unregelmässigkeit in den Schwingungen der Wage bemerkbar machte, wurde der Platindraht nach der Angabe von Kohlrausch in einer Lösung von 1 Teil Platinchlorid in 30 Teilen Wasser unter Zusatz von 0,008 Teilen Bleiacetat platiniert und dann geglüht. Auch wurde stets darauf geachtet, dass keine Luftblasen am Senkkörper oder in der Aufhängeschlinge auf das Resultat der Wägung Einfluss hatten.

Bestimmung von Konzentration und Dissociationsgrad.

Wie aus dem vorigen Abschnitt ersichtlich ist, wurde auf genaue Dichtebestimmung besonderer Wert gelegt, damit die Konzentrationen möglichst sicher angegeben werden konnten. Es hat sich nämlich im Laufe der Untersuchungen gezeigt, dass die

[1]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **30**, pg. 877. 1909.

Bestimmung des Gehaltes der Lösungen die grösste Fehlerquelle darstellt, so dass es sogar nicht zweckmässig erscheint, die Genauigkeit der optischen Bestimmungen zu erhöhen, bevor nicht die Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung beträchtlich vergrössert ist.

Die in den Tabellen angegebenen Konzentrationen wurden ebenso wie der aus dem elektrischen Leitvermögen berechnete Dissociationsgrad nach den spezifischen Gewichten aus bereits vorliegenden Angaben[1]) interpoliert.

Bestimmung des Brechungsexponenten.

Die Bestimmung des Brechungsexponenten für die Wasserstofflinien wurde mit einem Refraktometer nach Pulfrich[2]) aus der Fabrik von Zeiss, Jena, ausgeführt; auch die benutzten Wasserstoffröhren stammten von Zeiss. Ein mit zwei Akkumulatoren gespeistes Induktorium von einigen Zentimetern Luftfunkenlänge lieferte eine genügende Intensität der Lichtquelle, jedoch musste stets für möglichst rasche Unterbrechung Sorge getragen werden.

War diese Bedingung erfüllt, so musste die Röhre durch mehrfaches Ausprobieren auf scharfe Grenzlinien eingestellt werden, was sich noch dadurch verbessern liess, dass man durch Einschieben der Klappblende am Kondensor dem Farbenstreifen das Aussehen eines Linienspektrums mit drei schmalen Linien gab. Drittens wurde die Deutlichkeit der Grenzlinien noch von der Temperatur der Lösung beeinflusst. Anfängliche Misserfolge und auch ungenaue Bestimmungen früherer Autoren glaube ich darauf zurückführen zu müssen, dass der Temperaturzustand der Lösung im Augenblick der Ablesung kein ganz stationärer war. Die Forderung, dass das Prisma des Apparates sowie die Wandung des Glaszylinders, in dem sich die Lösung befindet, dieselbe Temperatur haben wie die Lösung selbst, ist die Hauptbedingung für die Schärfe der Grenzlinien und damit für die Genauigkeit der Ablesung. Durch Umrühren wird das gestörte Aussehen der Grenzlinien allerdings vorübergehend gebessert, aber dauernd ist

[1]) F. Kohlrausch u. L. Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte.
A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **30**, pg. 878. 1909.
H. Clausen, Dissertation, Rostock 1911.
H. Clausen, Ann. d. Phys., Bd. **37**, pg. 53. 1912.

[2]) C. Pulfrich, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. **9**, pg. 389. 1895. Bd. **7**, pg. 267. 1893.

die Störung erst dann beseitigt, wenn durch völligen Ausgleich der Temperaturdifferenzen zwischen Lösung und Wandung die Bildung von Schichten und Strömungen in der Flüssigkeit unmöglich gemacht wird.

Aus diesem Grunde wurde die Zimmertemperatur möglichst auf 18^0 gehalten, was im Winter durch Regulierung der Dampfheizung, im Frühjahr mit Hülfe eines Gasofens leicht zu erreichen war; in der heissen Jahreszeit wurden keine Messungen mehr angestellt. Da auch die Nähe des Fensters schädlichen Einfluss auf die Konstanz der Temperatur ausübte, wurde der Apparat mitten im Zimmer, von Heizkörper und Fenster etwa gleich weit entfernt, aufgestellt. Die zu untersuchenden Lösungen wurden stets schon vorher in einem Wasserbade gut temperiert, und vor allem wurden nur dann Ablesungen gemacht, wenn die Temperatur des den Apparat umströmenden Wassers mindestens eine Viertelstunde konstant gewesen war. Und zwar ist diese Temperatur nie mehr als $\pm {}^1/_{20}{}^0$ von 18^0 abgewichen; Abweichungen von dieser Grösse haben aber auf die fünfte Dezimale des Brechungsexponenten keinen Einfluss mehr.

Bei Einstellung der Linien auf das Fadenkreuz war das Zimmer ganz verdunkelt, für die Winkelablesung wurde das Licht einer elektrischen Glühlampe auf den Teilkreis geworfen. Für die Anfangsuntersuchungen war es nötig, bei Einstellung der violetten Linie das Fadenkreuz ein wenig zu beleuchten, wobei durch einen Pappschirm verhindert wurde, dass das Licht der Glühlampe das Auge des Beobachters traf, das gerade für die Einstellung der violetten Linie vor jedem weiteren Lichteindruck geschützt sein musste. Im Verlaufe der Untersuchungen gewöhnte sich das Auge jedoch bald an jene Ablesung, und da auch die Fertigkeit im Einstellen der Röhre allmählich grösser wurde, konnte diese Beleuchtung des Fadenkreuzes später unterlassen werden.

Eine Ungenauigkeit der Ablesung, die daher rührt, dass das Strahlenbündel bei verschiedener Stellung der Röhre die Linse des Kondensors an verschiedenen Stellen trifft, obwohl für beide Einstellungen die Grenzlinien scharf sind, kann nicht als in Betracht kommende Fehlerquelle angesehen werden. Denn das Beobachtungsmaterial hat gezeigt, dass diese Ungenauigkeit nicht über die Unterschiede hinausgeht, die schon bei mehrmaliger Einstellung auf einen Winkel eintreten. Das erhellt auch deutlich aus den Abweichungen, die die einzelnen Bestimmungen der drei Indices

des destillierten Wassers gegen die berechneten Mittelwerte (siehe pg. 13) zeigen, gegenüber denselben Abweichungen für die Differenzen der Indices. Sie sind in beiden Fällen von derselben Grössenordnung, und zwar betragen sie bei den ersten Untersuchungen höchstens fünf Einheiten der fünften Dezimale, bei den letzten höchstens drei Einheiten, wobei noch in Rücksicht zu ziehen ist, dass nicht immer Wasser derselben Destillation vorlag.

Jetzt zu dem abgelesenen Winkel selbst! Man beobachtet bekanntlich den Winkel, den der Lichtstrahl mit seiner ursprünglichen Richtung bildet, nachdem er aus der Lösung mit streifender Incidenz in einen Glaswürfel eingetreten und aus diesem wieder in Luft ausgetreten ist. Es wurden für jeden Winkel stets vier Einstellungen und Ablesungen gemacht, und zwar wurde die Mikrometerschraube für jede dieser Einstellungen an einer anderen Stelle benutzt; auch war der Drehungssinn der Schraube stets derselbe. Die Nullpunktskorrektion wurde mehrmals zu + 4,6′ bestimmt und bei jedem Winkel angebracht. So war es leicht, für die betreffende Flüssigkeit den Winkel bis auf 0,3′ sicher zu erhalten.

Durch die Formel: $n = \sqrt{N^2 - \sin^2 i}$, wo N das Brechungsverhältnis des benutzten Glaswürfels und i den abgelesenen Winkel bedeutet, ergibt sich das Brechungsverhältnis n der Lösung; dasselbe konnte aus einer dem Apparat beigegebenen Tabelle zu jedem i für alle drei Linien sofort abgelesen werden.

Ergebnisse.

Die Tabellen 1 bis 21 enthalten die Resultate der Beobachtungen und Berechnungen; in ihnen sind im Anschluss an bereits vorliegendes Material folgende Bezeichnungen gewählt worden:

$s_{18/18}$ = Dichte der Lösung bei 18° bezogen auf Wasser von 18°.

m = Konzentration in gr-Aequivalent pro Liter.

$\Delta_s = \frac{100}{m}(s_{18/18} - 1)$ der aequivalente, prozentische Dichtezuwachs der Lösung gegen gleich temperiertes Wasser.

H_α, H_β, H_γ die drei Hauptlinien des Wasserstoffspektrums von den Wellenlängen: 656,3 μμ, 486,1 μμ, 434,1 μμ.

n_α, n_β, n_γ die zu den obigen Linien gehörigen Werte der Brechungsindices beim Uebergang von Luft in Lösung von 18°.

n_0 = Brechungsindex des Wassers bei 18^0 für die betreffende Linie.

$n - n_0$ zeigt die Unterschiede zwischen dem Brechungsexponenten der Lösung und dem des Wassers.

$\Delta_n = \frac{100\,(n - n_0)}{n_0 \cdot m}$ ist der aequivalente, prozentische, optische Dichtezuwachs der Lösung gegen Wasser von gleicher Temperatur. Die so gefundenen Werte wurden als

Δ_n „beob." in die Tabellen aufgenommen.

Diese beobachteten Werte Δ_n wurden in Beziehung zum Dissociationsgrade gesetzt, wobei Δ_n die Ordinate und i die Abscisse darstellte. Durch graphische Extrapolation in einem Massstabe, der dem Genauigkeitsgrade der Untersuchung entspricht, ergaben sich als Schnittpunkte der Schaulinien mit den Ordinaten $i = 1$ und $i = 0$ die Werte A_n und B_n für die Ionen- resp. Molekülösung. Wie nach Rubien[1]) zu erwarten war, bestätigte sich auch für die Wasserstofflinien bei allen untersuchten Lösungen die von Heydweiller[2]) aufgestellte lineare Beziehung:

$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)\,i$$

innerhalb der benutzten Konzentrationsgrenzen. Die so erhaltenen Werte A_n und B_n sind ebenfalls in den Tabellen angegeben; aus ihnen wurde nach obiger Beziehung Δ_n berechnet und als Δ_n „ber." angegeben; d zeigt den Unterschied des beobachteten vom berechneten Werte Δ_n. Wo, wie z. B. bei der 4fach Normallösung des RbJ die violette Linie zu lichtschwach war, wurde aus dem berechneten Δ_n rückwärts $(n - n_0)$ und n_γ berechnet und ebenfalls durch den Zusatz „ber." von den beobachteten Werten unterschieden.

In der beigefügten Tafel sind für je ein Kation und verschiedene Anionen die drei Geraden gezeichnet, die die angegebene lineare Beziehung graphisch veranschaulichen; man erkennt sofort, dass für die einwertigen Anionen die Werte A_n und B_n mit wachsendem Atomgewichte zunehmen, und dass der Verlauf der Linien für die einzelnen Kationen ebenfalls mit zunehmendem Atomgewichte ein steilerer wird. Genaueres lässt sich jedoch erst durch die Vergleichung des Zahlenmaterials für die Werte A_n und B_n angeben. Die Differenzen beider Werte für die drei

[1]) E. Rubien, a. a. O.

[2]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **30**, pg. 873. 1909.

Linien finden sich in Tabelle 22. Von den vorliegenden 24 Lösungen sind bei einer alle drei Geraden parallel, in drei Fällen sind sie schwach konvergent und in drei Fällen schwach divergent nach der Seite der Punkte B_n hin; H_α und H_β sind bei drei Lösungen parallel, H_β und H_γ bei sechs Lösungen; in acht Fällen sind alle drei Geraden schief gegeneinander. Aber die Abweichungen vom Parallelismus, die mithin keiner bestimmten Regel folgen, überschreiten auch quantitativ nicht die durch die Unsicherkeit der Beobachtungen gegebene Grösse. Da auch in der graphischen Extrapolation der Werte A_n und B_n, speziell für grosse Werte von $A_n - B_n$, eine nicht unbeträchtliche Fehlerquelle liegt, und ein geringer Konzentrationsfehler der $^1/_2$- oder 4fach Normallösung auf die Lage der Geraden und deshalb auf die mit ihrer Hilfe extrapolierten Grössen bereits einen grossen Einfluss ausübt, so sind:

> im sichtbaren Spektrum innerhalb der Beobachtungsfehler die drei Schaugeraden der obigen linearen Beziehung als parallel anzusehen.

Die in der vorläufigen Mitteilung angegebene Konvergenz für einige Lösungen, die auch Rubien vermutete, ist also nicht als solche aufzufassen, sondern darf nur im Zusammenhange mit den Resultaten der übrigen Lösungen betrachtet werden und unterstützt dann die Ansicht von dem parallelen Verlauf der Linien. Die Differenz $A_n - B_n$ ist im sichtbaren Spektrum also von der Wellenlänge unabhängig. Sie ist positiv; infolgedessen hat die Ionisation bei den untersuchten Salzen eine Zunahme der Lichtbrechung zur Folge. Diese Zunahme ist innerhalb der benutzten Konzentrationen für die verschiedenen Wellenlängen des sichtbaren Spektrums als konstant anzusehen. HJ, für das Rubien als einzige Ausnahme eine Abnahme der Lichtbrechung mit der Dissociation nachweisen konnte, habe ich nicht untersucht.

Da nun für zwei verschiedene Wellenlängen die zugehörige Differenz der Werte Δ_n eine Konstante ist, so gibt das Mittel aus den Werten der vier Konzentrationen einen brauchbaren Ausdruck für die Dispersion der Normallösung einer Substanz unabhängig von ihrem Dissociationsgrade.

Die Zahlenwerte für diese Dispersionsgrössen, $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$ und $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$, sind in jeder Tabelle angegeben; ihre Mittelwerte wurden in den Tabellen 23 und 24 besonders zusammengestellt; es ist aus ihnen sofort ersichtlich,

dass die Dispersion für alle Lösungen mit gleichem Anion konstant und deshalb unabhängig von dem in der Lösung vorhandenen Kation ist.

Für einwertige Kationen, besonders aus den Werten für HCl und CsCl, lässt sich deutlich erkennen, dass das Kation keinen merklichen Einfluss auf die Dispersion im sichtbaren Spektrum ausübt. Ob dieser Satz auch auf mehrwertige Kationen ausgedehnt werden kann, lässt sich aus dem einzigen vorliegenden Wert für $Mg_{1/2}Cl$ noch nicht folgern, wohl aber vermuten und es scheint mir eine dankbare Aufgabe zu sein, nicht nur für mehrwertige Kationen die Dispersionsverhältnisse zu untersuchen, sondern auch für weitere Anionen die Dispersionskonstanten festzulegen und die Abhängigkeit derselben von den chemischen Eigenschaften der Substanz genauer zu prüfen. Für die einwertigen Anionen lässt sich bisher nur folgern, dass die Dispersion mit dem Atomgewichte zunimmt.

Diese Konstanz der Dispersion für Lösungen mit gleichem Anion ist bisher, wie eine Durchsicht der gesamten Literatur ergab, noch nicht in der Weise ausgesprochen worden, wie es hier geschehen ist. Die Arbeiten von Bender lassen nichts über eine solche Gesetzmässigkeit der Dispersion erkennen, jedoch ist Brühl[1]) 1891 bereits nahe daran gewesen, für die Halogene eine Gesetzmässigkeit nachzuweisen. Brühl hat nämlich gefunden, dass die Atomdispersionen der Halogene „angenähert" konstant sind und fand als mittlere Zahlenwerte für den Ausdruck:

$$\frac{P}{m}\left(\frac{n_\gamma^2 - 1}{n_\gamma^2 + 2} - \frac{n_\alpha^2 - 1}{n_\alpha^2 + 2}\right)$$

bei den Chloriden: 0,176.
„ „ Bromiden: 0,348.
„ „ Jodiden: 0,774.

Dieses Resultat, das nach Brühl „besondere Hervorhebung" verdient, hat aber in der Folgezeit wenig Beachtung gefunden; selbst Brühl ist in seinen späteren Arbeiten meines Wissens nicht darauf zurückgekommen.

1895 spricht Borgesius[2]) auf Grund von Zahlen, die er für den Ausdruck:

$$10^3 \frac{v_F - v_C}{v_D}, \text{ wo } v = n - n_0$$

[1]) J. W. Brühl, Zeitschrift für phys. Chemie, Bd. **7**, pg. 140. 1891.
[2]) A. H. Borgesius, Wied. Annalen, Bd. **54**, pg. 233. 1895.

findet, die Bemerkung aus, „dass die Dispersion weit mehr beeinflusst wird durch eine Aenderung der Säure als durch Substitution der Basis; auffällig ist die starke Dispersion der Nitrate und Bromide, die schwache der Sulfate“.

Auch Dijken[1]) spricht 1897 denselben Gedanken aus.

Durch die vorliegende Arbeit ist die Konstanz der Dispersion für Fluoride, Chloride, Bromide, Jodide, Rhodanide und Nitrate einwertiger Kationen einwandfrei erwiesen, wenigstens für die Konzentrationen zwischen $^1/_2$- und 4fach normal und für die Wellenlängen des sichtbaren Spektrums. Alle weiteren Schlüsse müssen späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Folgerungen.

Mit Hülfe dieser Gesetzmässigkeit der Dispersionserscheinungen, die aus einer Reihe von Beobachtungen bestimmt und innerhalb der Beobachtungsfehler bis zur fünften Dezimale des Brechungsexponenten und der dritten Dezimale der Konzentration genau erfüllt ist, ist es möglich, bisher allerdings nur für die von mir untersuchten Anionen, aus einer exakten Bestimmung des Brechungsexponenten für eine einzige Wellenlänge die Brechungsexponenten für die beiden anderen Linien des Wasserstoffspektrums mit grösserer Genauigkeit zu berechnen, als es eine einzelne empirische Bestimmung liefern würde. Denn einer solchen haften noch immer Beobachtungsfehler an, die bei den zur Berechnung zu verwendenden Mittelwerten aus einer Reihe von Untersuchungen beträchtlich verkleinert sind. Ein Beispiel mag das Gesagte erläutern:

Nach Tabelle 18 ist für die Konzentration $m = 1{,}953$ des Kaliumrhodanid der Wert $n_\alpha = 1{,}36452$ gefunden worden; aus ihm sollen n_β und n_γ berechnet werden mit Hülfe der Differenzen

$$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha} = b = 0{,}060 \text{ und}$$

$$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha} = c = 0{,}100,$$

wie wir sie für alle Rhodanide nach den Tabellen 23 und 24 gefunden haben. Es ist:

$$\Delta_{n\alpha} = \frac{100\,(n_\alpha - n_{0\alpha})}{n_{0\alpha} \cdot m} = 1{,}273$$

also:

$$\Delta_{n\beta} = 1{,}273 + 0{,}060 = 1{,}333.$$

$$\Delta_{n\gamma} = 1{,}273 + 0{,}100 = 1{,}373.$$

[1]) D. Dijken, Zeitschrift für phys. Chemie, Bd. **24**, pg. 81. 1897.

Daraus folgt:

$$n_\beta = \frac{1}{100}(1{,}33735 \cdot 1{,}333 \cdot 1{,}953) + 1{,}33735.$$

$$= 1{,}37217 \text{ gegen das beobachtete: } 1{,}37216.$$

und:

$$n_\gamma = \frac{1}{100}(1{,}34054 \cdot 1{,}373 \cdot 1{,}953) + 1{,}34054.$$

$$= 1{,}37650 \text{ gegen das beobachtete: } 1{,}37646.$$

Ein grosser Vorteil ist vor allem darin zu sehen, dass es jetzt nicht mehr nötig ist, die immerhin mit einigen Schwierigkeiten verknüpfte Einstellung der violetten Wasserstofflinie vorzunehmen, da die Bestimmungen von $\Delta_{n\alpha}$ und $\Delta_{n\beta}$ ausreichen, um mit grosser Exaktheit den Wert $\Delta_{n\gamma}$ zu berechnen. Der Quotient $\frac{\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}}{\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}}$ ergibt sich nämlich aus den Mittelwerten der Tabellen 23 und 24 zu 1,675, so dass: $\Delta_{n\gamma} = 1{,}675\,(\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}) + \Delta_{n\alpha}$ ist. Mit welcher Genauigkeit diese Beziehung erfüllt ist, zeigt die Tabelle 25. Die Fluoride blieben hier unberücksichtigt, da für sie zu wenige Bestimmungen vorliegen, während für die übrigen Anionen die beobachteten und berechneten Werte bis zur fünften Dezimale des Brechungsexponenten übereinstimmen, nur beim Brom ist eine Abweichung von einer Einheit der fünften Dezimale vorhanden, die auf den etwas zu kleinen Wert für KBr in Tabelle 24 zurückzuführen ist.

Da die Genauigkeit der Bestimmungen des Brechungsindex die Genauigkeit der Konzentrationsbestimmung weit übersteigt, und da die lineare Beziehung zwischen Δ_n und i im Bereich von m = 0,5 bis 4,0 als richtig erwiesen ist, so ist es vielleicht möglich, für Fälle, bei denen die Konzentration bis zur vierten Dezimale genau angegeben werden soll, dieselbe so zu bestimmen, dass man mit Hülfe der optischen Konstanten A_n und B_n und einer Bestimmung von i und n die Konzentration nach folgender Formel berechnet:

$$m = \frac{n - n_0}{n_0\,[B_n + (A_n - B_n)\,i]}$$

Für die meisten Zwecke wird jedoch die Umständlichkeit dieser viele Zeit erfordernden Methode nicht dem Vorteil einer grösseren Genauigkeit entsprechen.

Zur Bestimmung der Eigenschwingung im Ultravioletten nach der Helmholtz-Kettelerschen Dispersionsformel sind die be-

nutzten Wellenlängen-Intervalle leider nicht ausreichend; es lässt sich aber aus dem vorher Gesagten folgern, dass die ultraviolette Eigenschwingung für Lösungen mit gleichem Anion wahrscheinlich eine Konstante ist und nicht merklich von dem Kation der Lösung abhängt, was in Uebereinstimmung ist mit Untersuchungen, die Herr Lübben[1]) zurzeit im ultravioletten Teile des Spektrums ausführt und die auch auf genaue Zahlenwerte für die Eigenschwingungen führen.

Zusammenfassung.

1. Für 21 Lösungen wurden die Brechungsexponenten des Wasserstofflichtes bei 18° und vier genau bestimmten Konzentrationen angegeben.
2. Die Schaulinien der linearen Beziehung: $\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)i$ sind für die Wellenlängen des sichtbaren Spektrums parallel, die Zunahme der Lichtbrechung mit der Ionisation ist also von der Wellenlänge unabhängig.
3. Als Ausdruck für die Dispersion einer Lösung wurde der Wert von $(\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha})$ resp. $(\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha})$ berechnet und gefunden, dass die Dispersion für Lösungen mit gleichem Anion bei einwertigen Kationen konstant ist, und zwar wächst sie für die einwertigen Anionen mit dem Atomgewicht.
4. Für weitere Dispersionsbestimmungen an Lösungen beliebiger Anionen braucht die violette Linie des Wasserstofflichtes nicht mehr bestimmt zu werden, sondern lässt sich aus den Bestimmungen der α- und β-Linien nach der Formel:

$$\Delta_{n\gamma} = \Delta_{n\alpha} + 1{,}675\,(\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha})$$

berechnen.

Für Chloride, Bromide, Jodide, Rhodanide und Nitrate braucht nur noch die α-Linie bestimmt zu werden; die beiden anderen Brechungsexponenten lassen sich dann berechnen nach den Formeln:

$$n_\beta = n_{0\beta} \cdot m\,(\Delta_{n\alpha} + b) \cdot \frac{1}{100} + n_{0\beta}$$

$$n_\gamma = n_{0\gamma} \cdot m\,(\Delta_{n\alpha} + c) \cdot \frac{1}{100} + n_{0\gamma}$$

[1]) C. Lübben, Diss. Rostock 1913. Sitzungsber. u. Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Rostock. Bd. **5**, pg. 26. 1913.

wo b und c als Dispersionskonstanten für das betreffende Anion aus den Tabellen 23 und 24 zu entnehmen sind. Für das Wasser wurde gefunden: $n_{0\alpha} = 1.33141.$
$n_{0\beta} = 1.33735.$
$n_{0\gamma} = 1.34054.$

5. Es lässt sich der Schluss ziehen, dass die ultravioletten Eigenschwingungen für Lösungen mit gleichem Anion unabhängig vom Kation sind.

Literatur-Verzeichnis.

1. A. Heydweiller, Ann. d. Phys, Bd. **30**, pg. 877. 1909.
2. A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **33**, pg. 145. 1910.
3. A. Heydweiller, Ann. d. Phys., Bd. **37**, pg. 739. 1912.
4. E. Rubien, Dissertation, Rostock 1911. Sitzungsber. u. Abhandlungen d. Naturf. Ges. zu Rostock 1911.
5. C. Chéneveau, Ann. de Chimie et de Phys. (8), Bd. **12**, pg. 145 u. 289. 1907.
6. C. Chéneveau, Ann. de Chimie et de Phys. (8), Bd. **21**, pg. 36. 1910.
7. F. Kohlrausch u. L. Holborn, Leitvermögen der Elektrolyte.
8. H. Clausen, Dissertation, Rostock 1911.
9. H. Clausen, Ann. d. Phys., Bd. **37**, pg. 53. 1912.
10. C. Pulfrich, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. **9**, pg. 389. 1895.
11. C. Pulfrich, Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. **7**, pg. 267. 1893.
12. J. W. Brühl, Zeitschrift für phys. Chemie, Bd. **7**, pg. 140. 1891.
13. D. Dijken, Zeitschrift für phys. Chemie, Bd. **24**, pg. 81. 1897.
14. A. H. Borgesius, Wied. Ann., Bd. **54**, pg. 233. 1897.

1. Li Cl.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33140	—	1.33735	—	1.34056	—	—	—
0.4971	1.33580	0.00440	1.34192	0.00457	1.34525	0.00469	1.01216	2.446
1.000	1.34011	0.00871	1.34639	0.00904	1.34979	0.00923	1.02400	2.400
1.980	1.34829	0.01689	1.35490	0.01755	1.35847	0.01791	1.04653	2.350
3.966	1.36398	0.03258	1.37117	0.03382	1.37512	0.03456	1.09015	2.273

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.715	0.665	0.666	— 0.001	0.687	0.689	— 0.002	0.704	0.702	+ 0.002	0.022	0.039
0.641	0.654	0.655	— 0.001	0.676	0.677	— 0.001	0.689	0.690	— 0.001	22	35
0.539	0.641	0.639	+ 0.002	0.663	0.661	+ 0.002	0.675	0.675	±	22	34
0.396	0.617	0.617	±	0.638	0.638	±	0.650	0.652	— 0.002	21	33
	$A_n = 0.709$ $B_n = 0.558$ $A_n - B_n = 0.151$			$A_n = 0.735$ $B_n = 0.575$ $A_n - B_n = 0.160$			$A_n = 0.746$ $B_n = 0.591$ $A_n - B_n = 0.155$			0.022	0.035

2. NaCl.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33139	—	1.33734	—	1.34053	—	—	—
0.5065	1.33648	0.00509	1.34261	0.00527	1.34591	0.00538	1.02092	4.13
1.012	1.34132	0.00993	1.34764	0.01030	1.35102	0.01041	1.04111	4.06
2.009	1.35045	0.01906	1.35708	0.01974	1.36068	0.02015	1.07966	3.96_5
4.003	1.36736	0.03597	1.37455	0.03721	1.37862	0.03809	1.15304	3.82

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.742	0.755	0.754	+ 0.001	0.776	0.776	±	0.792	0.791	+ 0.001	0.021	0.037
0.682	0.737	0.737	±	0.761	0.760	+ 0.001	0.773	0.774	— 0.001	0.024	36
0.595	0.712_5	0.713_5	— 0.001	0.735	0.735	±	0.748	0.749	— 0.001	22_5	35_5
0.452	0.675	0.674	+ 0.001	0.695	0.695	±	0.710	0.709	+ 0.001	20	35
	$A_n = 0.825$ $B_n = 0.550$ $A_n - B_n = 0.275$			$A_n = 0.849$ $B_n = 0.568$ $A_n - B_n = 0.281$			$A_n = 0.863$ $B_n = 0.582$ $A_n - B_n = 0.281$			0.022	0.036

3. Rb Cl.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33141	—	1.33742	—	1.34051	—	—	—
0.5165	1.33698	0.00557	1.34311	0.00569	1.34636	0.00585	1.04566	8.84
1.009	1.34210	0.01069	1.34836	0.01094	1.35172	0.01121	1.08849	8.77
2.074	1.35253	0.02112	1.35917	0.02171	1.36281	0.02230	1.17961	8.66
4.000	1.37003	0.03862	1.37722	0.03980	1.38125	0.04074	1.34000	8.50

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.792	0.810	0.811	— 0.001	0.822	0.826	— 0.004	0.845	0.845	±	0.012	0.035
0.764	0.796	0.792	+ 0.004	0.811	0.808	+ 0.003	0.829	0.827	+ 0.002	15	33
0.728	0.765	0.769	— 0.004	0.783	0.785	— 0.002	0.802	0.804	— 0.002	18	37
0.658	0.725	0.724	+ 0.001	0.744	0.741	+ 0.003	0.760	0.760	±	19	35
	$A_n = 0.942$ $B_n = 0.305$ $A_n - B_n = 0.637$			$A_n = 0.957$ $B_n = 0.326$ $A_n - B_n = 0.631$			$A_n = 0.977$ $B_n = 0.342$ $A_n - B_n = 0.635$			0.016[1]	0.035

[1]) Der Wert ist zu klein, weil schon n_β für H_2O zu gross bestimmt ist.

4. Cs Cl.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33141	—	1.33736	—	1.34054	—	—	—
0.5026	1.33798	0.00657	1.34412	0.00676	1.34742	0.00688	1.06473	12.88
0.999	1.34426	0.01285	1.35055	0.01319	1.35399	0.01345	1.12787	12.78
2.001	1.35648	0.02507	1.36316	0.02580	1.36684	0.02630	1.25373	12.68
3.994	1.37953	0.04812	1.38690	0.04954	1.39105	0.05051	1.49645	12.43

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.782	0.982	0.981	+ 0.001	1.006	1.003	+ 0.003	1.021	1.019	+ 0.002	0.024	0.039
0.753	0.966	0.966	±	0.987	0.988	— 0.001	1.004	1.004	±	21	38
0.717	0.941	0.945	— 0.004	0.964	0.968	— 0.004	0.980	0.984	— 0.004	23	39
0.638	0.905	0.902	+ 0.003	0.928	0.925	+ 0.003	0.943	0.940	+ 0.003	23	38
	$A_n = 1.104$ $B_n = 0.544$ $A_n - B_n = 0.560$			$A_n = 1.125$ $B_n = 0.570$ $A_n - B_n = 0.555$			$A_n = 1.141$ $B_n = 0.585$ $A_n - B_n = 0.556$			0.023	0.038_5

5. Li Br.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33141	—	1.33735	—	1.34052	—	—	—
0.4992	1.33773	0.00632	1.34400	0.00665	1.34740	0.00688	1.03115	6.24
1.000	1.34397	0.01256	1.35056	0.01321	1.35421	0.01369	1.06200	6.20
1.998	1.35606	0.02465	1.36332	0.02597	1.36734	0.02682	1.12288	6.15
4.000	1.37970	0.04829	1.38821	0.05086	1.39300	0.05248	1.24280	6.07

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.736	0.951	0.952	— 0.001	0.996	0.996	±	1.028	1.028	±	0.045	0.077
0.669	0.943	0.942	+ 0.001	0.988	0.986	+ 0.002	1.021	1.017	+ 0.004	45	78
0.575	0.927	0.927	±	0.972	0.972	±	1.001	1.002	— 0.001	43	72
0.440	0.907	0.906	+ 0.001	0.951	0.951	±	0.979	0.980	— 0.001	44	72
	$A_n = 0.993$ $B_n = 0.838$ $A_n - B_n = 0.155$			$A_n = 1.036$ $B_n = 0.885$ $A_n - B_n = 0.151$			$A_n = 1.071$ $B_n = 0.908$ $A_n - B_n = 0.163$			0.044	0.075

6. Na Br.

m	H_α		H_β		H_γ			
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33144	—	1.33737	—	1.34058	—	—	—
0.5023	1.33842	0.00698	1.34469	0.00732	1.34808	0.00750	1.03968	7.90
1.008	1.34527	0.01383	1.53190	0.01453	1.35555	0.01497	1.07900	7.84
1.994	1.35821	0.02677	1.36546	0.02809	1.36956	0.02898	1.15492	7.77
3.975	1.38327	0.05183	1.39187	0.05450	1.39677	0.05619	1.30412	7.65

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.766	1.044	1.044	±	1.090	1.088	+ 0.002	1.114	1.116	— 0.002	0.046	0.070
0.706	1.030	1.030	±	1.078	1.080	— 0.002	1.108	1.103	+ 0.005	48	78
0.625	1.008	1.011	— 0.003	1.053	1.055	— 0.002	1.084	1.085	— 0.001	45	76
0.481	0.979	0.977	+ 0.002	1.025	1.023	+ 0.002	1.054	1.054	±	46	75
	$A_n = 1.100$ $B_n = 0.863$ $A_n - B_n = 0.237$			$A_n = 1.141$ $B_n = 0.913$ $A_n - B_n = 0.228$			$A_n = 1.167$ $B_n = 0.949$ $A_n - B_n = 0.218$			0.046	0.075

7. KBr.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33140	—	1.33732	—	1.34050	—	—	—
0.5018	1.33818	0.00678	1.34444	0.00712	1.34782	0.00732	1.04195	8.36
1.006	1.34479	0.01339	1.35136	0.01404	1.35492	0.01442	1.08338	8.29
2.018	1.35765	0.02625	1.36485	0.02753	1.36883	0.02833	1.16545	8.20
4.046	1.38205	0.05065	1.39046	0.05314	1.39525	0.05475	1.32489	8.03

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.790	1.015	1.014	+ 0.001	1.061	1.059	+ 0.002	1.088	1.085	+ 0.003	0.046	0.073
0.760	1.000	0.999	+ 0.001	1.044	1.043	+ 0.001	1.069	1.069	±	44	69
0.723	0.977	0.980	— 0.003	1.020	1.024	— 0.004	1.047	1.051	— 0.004	43	70
0.644	0.940	0.939	+ 0.001	0.982	0.983	— 0.001	1.010	1.011	— 0.001	42	70
	$A_n = 1.122$ $B_n = 0.609$ $A_n - B_n = 0.513$			$A_n = 1.167$ $B_n = 0.651$ $A_n - B_n = 0.516$			$A_n = 1.191$ $B_n = 0.685$ $A_n - B_n = 0.506$			0.044	0.070_5

8. Rb Br.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33142	-	1.33735	—	1.34058	—	—	—
0.5156	1.33889	0.00747	1.34521	0.00786	1.34864	0.00806	1.06507	12.62
1.020	1.34612	0.01470	1.35269	0.01534	1.35636	0.01578	1.12801	12.55
2.031	1.36008	0.02866	1.36734	0.02999	1.37147	0.03089	1.25306	12.46
4.072	1.38677	0.05535	1.39529	0.05794	1.40026	0.05968	1.50208	12.32

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.803	1.092	1.094	— 0.002	1.135	1.137	— 0.002	1.165	1.167	— 0.002	0.043	0.073
0.777	1.082	1.080	+ 0.002	1.124	1.123	+ 0.001	1.154	1.153	+ 0.001	42	72
0.743	1.060	1.061	— 0.001	1.104	1.106	— 0.002	1.135	1.135	±	44	75
0.665	1.020	1.019	+ 0.001	1.064	1.060	+ 0.004	1.093	1.094	— 0.001	44	73
	$A_n = 1.201$ $B_n = 0.658$ $A_n - B_n = 0.543$			$A_n = 1.242$ $B_n = 0.708$ $A_n - B_n = 0.534$			$A_n = 1.271$ $B_n = 0.743$ $A_n - B_n = 0.528$			0.043	0.073

9. LiJ.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33141	—	1.33735	—	1.34054	—	—	—
0.5076	1.34175	0.01034	1.34843	0.01108	1.35212	0.01158	1.05020	9.89
0.970	1.35104	0.01963	1.35840	0.02105	1.36256	0.02202	1.09569	9.86
1.969	1.37102	0.03961	1.37987	0.04252	1.38497	0.04443	1.19318	9.81
2.900	1.38960	0.05819	1.39984	0.06249	1.40581	0.06527	1.28389	9.79

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.754	1.530	1.528	+ 0.002	1.632	1.630	+ 0.002	1.702	1.700	+ 0.002	0.102	0.172
0.697	1.520	1.522	— 0.002	1.623	1.625	— 0.002	1.693	1.694	— 0.001	103	173
0.610	1.511	1.513	— 0.002	1.615	1.616	— 0.001	1.683	1.685	— 0.002	105	173
0.536	1.507	1.505	+ 0.002	1.611	1.609	+ 0.002	1.679	1.678	+ 0.001	106	172
	$A_n = 1.555$ $B_n = 1.447$ $A_n - B_n = 0.108$			$A_n = 1.655$ $B_n = 1.555$ $A_n - B_n = 0.100$			$A_n = 1.724$ $B_n = 1.625$ $A_n - B_n = 0.099$			0.104	0.172_5

10. NaJ.

m	H_α		H_β		H_γ			
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33140	—	1.33735	—	1.34054	—	—	—
0.5068	1.34210	0.01070	1.34878	0.01143	1.35248	0.01194	1.05776	11.47
1.015	1.35288	0.02148	1.36036	0.02301	1.36456	0.02402	1.11592	11.42
2.261	1.37842	0.04702	1.38773	0.05038	1.39316	0.05262	1.25560	11.30
4.301	1.41915	0.08775	1.43152	0.09417	1.43879	0.09825	1.48043	11.17

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.778	1.596	1.594	+ 0.002	1.698	1.697	+ 0.001	1.769	1.768	+ 0.001	0.102	0.173
0.725	1.582	1.583	— 0.001	1.687	1.686	+ 0.001	1.757	1.757	±	0.105	0.175
0.630	1.562	1.562	±	1.666	1.668	— 0.002	1.736	1.737	— 0.001	0.104	0.174
0.470?	1.526	1.527	— 0.001	1.637	1.636	+ 0.001	1.704	1.705	— 0.001	0.111	0.178
	$A_n = 1.642$ $B_n = 1.426$ $A_n - B_n = 0.216$			$A_n = 1.741$ $B_n = 1.543$ $A_n - B_n = 0.198$			$A_n = 1.813$ $B_n = 1.609$ $A_n - B_n = 0.204$			0.105_5	0.175

11. KJ.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33138	—	1.33732	—	1.34050	—	—	—
0.5015	1.34204	0.01066	1.34871	0.01139	1.35240	0.01190	1.06044	12.05
1.015	1.35286	0.02148	1.36032	0.02300	1.36449	0.02399	1.12193	12.01
2.009	1.37326	0.04188	1.38218	0.04486	1.38731	0.04681	1.24034	11.96
4.015	1.41272	0.08134	1.42444	0.08712	1.43143	0.09093	1.47371	11.80

i	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.810	1.597	1.597	±	1.698	1.700	— 0.002	1.770	1.770	±	0.101	0.173
0.790	1.589	1.586	+ 0.003	1.694	1.689	+ 0.005	1.763	1.759	+ 0.004	105	174
0.759	1.566	1.569	— 0.003	1.670	1.671	— 0.001	1.739	1.741	— 0.002	104	173
0.673	1.522	1.521	+ 0.001	1.623	1.624	— 0.001	1.689	1 693	— 0.004	101	167
	$A_n = 1.703$ $B_n = 1.147$ $A_n - B_n = 0.556$			$A_n = 1.805$ $B_n = 1.251$ $A_n - B_n = 0.554$			$A_n = 1.877$ $B_n = 1.314$ $A_n - B_n = 0.563$			0.103	0.172

12. RbJ.

m	$H\alpha$		$H\beta$		$H\gamma$			
	$n\alpha$	$n - n_0$	$n\beta$	$n - n_0$	$n\gamma$	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33142	—	1.33734	—	1.34053	—	—	—
0.5115	1.34262	0.01120	1.34930	0.01186	1.35301	0.01248	1.08291	16.21
1.031	1.35380	0.02238	1.36131	0.02397	1.36556	0.02503	1.16661	16.16
2.039	1.37536	0.04394	1.38431	0.04697	1.38968 ber.	0.04915 ber.	1.32787	16.08
4.028	1.41627	0.08485	1.42801	0.09067	1.43564 ber.	0.09493 ber.	1.64166	15.93

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.812	1.645	1.643	+ 0.002	1.747	1.747	±	1.820	1.820	±	0.102	0.175
0.790	1.630	1.633	— 0.003	1.738	1.737	+ 0.001	1.811	1.810	+ 0.001	108	180
0.760	1.619	1.620	— 0.001	1.723	1.723	±	—	1.797	—	104	178
0.673	1.582	1.581	+ 0.001	1.683	1.683	±	—	1.758	—	101	176
	$A_n = 1.726$ $B_n = 1.284$ $A_n - B_n = 0.442$			$A_n = 1.832$ $B_n = 1.378$ $A_n - B_n = 0.454$			$A_n = 1.904$ $B_n = 1.458$ $A_n - B_n = 0.446$			0.104	0.177

13. $Sr_{1/2}ClO_3$.

m	$H\alpha$		$H\beta$		$H\gamma$		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	$n\beta$	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33145	—	1.33737	—	1.34059	—	—	—
0.5043	1.33856	0.00711	1.34463	0.00726	1.34793	0.00734	1.05018	9.95
1.034	1.34591	0.01446	1.35206	0.01469	1.35541	0.01482	1.10215	9.88
1.973	1.35840	0.02695	1.36481	0.02744	1.36834	0.02775	1.19322	9.78
4.000	1.38423	0.05278	1.39106	0.05369	1.39486 ber.	0.05427 ber.	1.38288	9.57

i	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.618	1.059	1.062	— 0.003	1.076	1.078	— 0.002	1.086	1.086	±	0.017	0.027
0.543	1.050	1.046	+ 0.004	1.062	1.061	+ 0.001	1.069	1.069	±	12	19
0.446	1.026	1.026	±	1.038	1.039	— 0.001	1.049	1.048	+ 0.001	12	23
0.284	0.991	0.991	±	1.003	1.003	±	—	1.012	—	12	21
	$A_n = 1.143$ $B_n = 0.931$ $A_n - B_n = 0.212$			$A_n = 1.163$ $B_n = 0.940$ $A_n - B_n = 0.223$			$A_n = 1.170$ $B_n = 0.949$ $A_n - B_n = 0.221$			0.013	0.022_5

14. RbF.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δs
H_2O	1.33139	—	1.33735	—	1.34051	—	—	—
0.3437	1.33364	0.00225	1.33958	0.00223	1.34278	0.00227	1.03127	9.08
1.039	1.33765	0.00626	1.34365	0.00630	1.34688	0.00637	1.09299	8.95
2.074	1.34296	0.01157	1.34896	0.01161	1.35218	0.01167	1.18278	8.81
4.221	1.35200	0.02061	1.35801	0.02066	1.36130	0.02079	1.36282	8.59_5

	$\Delta n\alpha$			$\Delta n\beta$			$\Delta n\gamma$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta n\beta - \Delta n\alpha$	$\Delta n\gamma - \Delta n\alpha$
0.780	0.491	0.489	+ 0.002	0.485	0.488	— 0.003	0.493	0.491	+ 0.002	— 0.006	0.002
0.698	0.452	0.454	— 0.002	0.453	0.453	±	0.457	0.456	+ 0.001	+ 0.001	0.005
0.621	0.419	0.420	— 0.001	0.419	0.419	±	0.420	0.422	— 0.002	0	1
0.494	0.367	0.365	+ 0.002	0.366	0.364	+ 0.002	0.367	0.367	±	— 0.001	0
	An = 0.585 Bn = 0.157 An — Bn = 0.428			An = 0.584 Bn = 0.151 An — Bn = 0.433			An = 0.587 Bn = 0.154 An — Bn = 0.433			-0.001_5	0.002

15. NH_4F.

m	$H\alpha$		$H\beta$		$H\gamma$			
	$n\alpha$	$n - n_0$	$n\beta$	$n - n_0$	$n\gamma$	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33141	—	1.33736	—	1.34059	—	—	—
0.5122	1.33414	0.00273	1.34013	0.00277	1.34333	0.00279	1.00955	1.865
1.050	1.33656	0.00515	1.34258	0.00522	1.34580	0.00526	1.01848	1.76
2.110	1.34069	0.00928	1.34678	0.00942	1.34999	0.00945	1.03403	1.61
4.121	1.34700	0.01559	1.35318	0.01582	1.35650	0.01596	1.05772	1.40

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.670	0.400	0.399	+ 0.001	0.406	0.404	+ 0.002	0.407	0.405	+ 0.002	0.006	0.007
0.590	0.368	0.368	±	0.372	0.372	±	0.374	0.374	±	4	6
0.493	0.330	0.330	±	0.334	0.334	±	0.334	0.336	— 0.002	4	4
0.375	0.284	0.284	±	0.287	0.288	— 0.001	0.289	0.289	±	3	5
	$An = 0.528$ $Bn = 0.138$ $An - Bn = 0.390$			$An = 0.534$ $Bn = 0.140$ $An - Bn = 0.394$			$An = 0.535$ $Bn = 0.142$ $An - Bn = 0.393$			0.004	0.005_5

16. Li CNS.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33141	—	1.33735	—	1.34056	—	—	—
0.5003	1.33961	0.00820	1.34600	0.00865	1.34948	0.00892	1.01249	2.50
1.024	1.34805	0.01664	1.35493	0.01758	1.35871	0.01815	1.02542	2.48
2.043	1.36430	0.03289	1.37205	0.03470	1.37636	0.03580	1.04985	2.44
3.436	1.38638	0.05497	1.39536	0.05801	1.40054	0.05998	1.08267	2.40

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.716	1.231	1.230	+ 0.001	1.293	1.292	+ 0.001	1.330	1.330	±	0.062	0.099
0.640	1.221	1.222	— 0.001	1.284	1.284	±	1.322	1.322	±	64	0.102
0.534	1.209	1.211	— 0.002	1.270	1.273	— 0.003	1.307	1.311	— 0.004	61	0.098
0.414	1.202	1.198	+ 0.004	1.262	1.259	+ 0.003	1.302	1.297	+ 0.005	60	0.100
	$A_n = 1.261$ $B_n = 1.153$ $A_n - B_n = 0.108$			$A_n = 1.324$ $B_n = 1.213$ $A_n - B_n = 0.111$			$A_n = 1.362$ $B_n = 1.251$ $A_n - B_n = 0.111$			0.062	0.100

17. Na CNS.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33143	—	1.33740	—	1.34055	—	—	—
0.5054	1.34024	0.00881	1.34668	0.00928	1.35017	0.00962	1.02109	4.172
0.829	1.34579	0.01436	1.35246	0.01506	1.35616	0.01561	1.03446	4.156
1.946	1.36469	0.03326	1.37239	0.03499	1.37674	0.03619	1.07913	4.066
3.993	1.39779	0.06636	1.40732	0.06992	1.41279	0.07224	1.15708	3 933

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.742	1.309	1.309	±	1.373	1.369	+ 0.004	1.412	1.412	±	0.064	0.103
0.705	1.301	1.302	— 0.001	1.358	1.362	— 0.004	1.405	1.405	±	57	104
0.604	1.284	1.282	+ 0.002	1.344	1.342	+ 0.002	1.387	1.386	+ 0.001	60	102
0.436	1.248	1.249	— 0.001	1.309	1.310	— 0.001	1.350	1.352	— 0.002	61	103
	$A_n = 1.360$ $B_n = 1.163$ $A_n - B_n = 0.197$			$A_n = 1.419$ $B_n = 1.225$ $A_n - B_n = 0.194$			$A_n = 1.463$ $B_n = 1.267$ $A_n - B_n = 0.196$			0.060_5	0.103

18. KCNS.

m	H_α		H_β		H_γ			
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33140	—	1.33734	—	1.34054	—	—	—
0.4915	1.33992	0.00852	1.34627	0.00893	1.34973	0.00919	1.02340	4.76
0.9825	1.34822	0.01682	1.35502	0.01768	1.35877	0.01823	1.04627	4.71
1.953	1.36452	0.03312	1.37216	0.03482	1.37646	0.03592	1.09097	4.66
3.941	1.39632	0.06492	1.40562	0.06828	1.41101	0.07047	1.17812	4.52

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.790	1.302	1.300	+ 0.002	1.359	1.359	±	1.395	1.397	— 0.002	0.057	0.093
0.756	1.286	1.287	— 0.001	1.346	1.346	±	1.384	1.385	— 0.001	60	98
0.718	1.274	1.274	±	1.333	1.333	±	1.372	1.370	+ 0.002	59	98
0.617	1.237	1.236	+ 0.001	1.295	1.295	±	1.333	1.333	±	58	96
	$A_n = 1.378$ $B_n = 1.007$ $A_n - B_n = 0.371$			$A_n = 1.437$ $B_n = 1.067$ $A_n - B_n = 0.370$			$A_n = 1.475$ $B_n = 1.105$ $A_n - B_n = 0.370$			0.058_5	0.096

19. $RbNO_3$.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33139	—	1 33733	—	1.34048	—	—	—
0.5044	1.33674	0.00535	1.34288	0.00555	1.34620	0.00572	1 05236	10.38
1.006	1.34176	0.01037	1.34811	0.01078	1.35158	0.01110	1.10342	10.28
2.000	1.35110	0.01971	1.35783	0.02050	1.36153	0.02105	1.20300	10.15
2.691	1.35728	0.02589	1 36425	0.02692	1.36814	0.02766	1.27125	10.08

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.736	0.797	0.798	— 0.001	0.823	0.825	— 0.002	0.846	0.847	— 0.001	0.026	0.049
0.663	0.774	0.773	+ 0.001	0.801	0.799	+ 0.002	0.823	0.820	+ 0.003	27	49
0.571	0.740	0.740	±	0.766	0.766	±	0.785	0.786	— 0.001	26	45
0.520	0.723	0.723	±	0.748	0.748	±	0.767	0.767	±	25	44
	$An = 0.889$ $Bn = 0.543$ $An - Bn = 0.346$			$An = 0.918$ $Bn = 0.562$ $An - Bn = 0.356$			$An = 0.945$ $Bn = 0.574$ $An - Bn = 0.371$			0.026	0.047

20. $LiNO_3$.

m	H_α		H_β		H_γ		$s^{18}/_{18}$	Δ_s
	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$		
H_2O	1.33139	—	1.33733	—	1.34052	—	—	—
0.5013	1.33558	0.00419	1.34170	0.00437	1.34502	0.00450	1.02016	4.02
1.059	1.34008	0.00869	1.34641	0.00908	1.34986	0.00934	1.04217	3.98_5
2.013	1.34765	0.01626	1.35436	0.01703	1.35806	0.01754	1.07953	3.95
4.002	1.36267	0.03128	1.37011	0.03268	1.37429	0.03377	1.15489	3.87

i	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	d	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	d	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	d	beob. $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	beob. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.713	0.628	0.628	±	0.651	0.652	— 0.001	0.670	0.670	±	0.023	0.042
0.627	0.617	0.618	— 0.001	0.642	0.642	±	0.659	0.660	— 0.001	25	42
0.526	0.607	0.606	+ 0.001	0.632	0.630	+ 0.002	0.650	0.649	+ 0.001	25	43
0.367	0.587	0.587	±	0.611	0.611	±	0.629	0.630	— 0.001	24	42
	$A_n = 0.662$ $B_n = 0.543$ $A_n - B_n = 0.119$			$A_n = 0.686$ $B_n = 0.567$ $A_n - B_n = 0.119$			$A_n = 0.703$ $B_n = 0.588$ $A_n - B_n = 0.115$			0.024	0.042

21. $Rb(SO_4)_{1/2}$.

	H_α		H_β		H_γ			
m	n_α	$n - n_0$	n_β	$n - n_0$	n_γ	$n - n_0$	$s^{18}/_{18}$	Δ_s
H_2O	1.33139	—	1.33733	—	1.34053	—	—	—
0.5029	1.33737	0.00598	1.34340	0.00607	1.34664	0.00611	1.05522	10.98
1.009	1.34289	0.01150	1.34894	0.01161	1.35221	0.01168	1.10897	10.80
2.044	1.35324	0.02185	1.35943	0.02210	1.36273	0.02220	1.21605	10.57
3.166	1.36342	0.03203	1.36970	0.03233	1.37306	0.03253	1.32895	10.39

	$\Delta_{n\alpha}$			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			beob.	
i	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	beob.	ber.	d	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
0.632	0.893	0.894	— 0.001	0.903	0.901	+ 0.002	0.906	0.905	+ 0.001	0.010	0.013
0.578	0.856	0.853	+ 0.003	0.860	0.859	+ 0.001	0.863	0.862	+ 0.001	4	7
0.515	0.803	0.804	— 0.001	0.809	0.809	±	0.810	0.812	— 0.002	6	7
0.459	0.760	0.761	— 0.001	0.764	0.765	— 0.001	0.767	0.867	±	4	7
	$A_n = 1.177$ $B_n = 0.408$ $A_n - B_n = 0.769$			$A_n = 1.188$ $B_n = 0.407$ $A_n - B_n = 0.781$			$A_n = 1.197$ $B_n = 0.403$ $A_n - B_n = 0.794$			0.006	0.008_5

Tabelle 22.

$A_n - B_n$ für H_α, H_β und H_γ sowie der Mittelwert aus diesen.

	Cl	Br	I	F	CNS	NO_3	$(SO_4)^1/_2$	ClO_3
Li	0.151 0.160 0.155 0.155	0.155 0.151 0.163 0.156	0.108 0.100 0.099 0.102		0.108 0.111 0.111 0.110	0.119 0.119 0.115 0.118		
Na	0.275 0.281 0.281 0.279	0.237 0.228 0.218 0.228	0.216 0.198 0.204 0.206		0.197 0.194 0.196 0.196	0.296[1] 0.292 0.302 0.297		
K		0.513 0.516 0.506 0.513	0.556 0.554 0.563 0.558		0.371 0.370 0.370 0.370			
Rb	0.637 0.631 0.635 0.634	0.543 0.534 0.528 0.535	0.442 0.454 0.446 0.447	0.428 0.433 0.433 0.431		0.346 0.356 0.371 0.358	0.769 0.781 0.794 0.781	
$Mg^1/_2$	0.247[1] 0.255 0.254 0.252							
Cs	0.560 0.555 0.556 0.557							
NH_4				0.390 0.393 0.393 0.392				
H	0.135[1] 0.134 0.139 0.136							
$Sr^1/_2$								0.212 0.223 0.221 0.219

[1]) Nach Rubien (siehe Literaturangabe).

Tabelle 23.

$$\underline{10^3(\Delta_n\beta - \Delta_n\alpha)} = \frac{10^5}{m}\left[\left(\frac{n - n_0}{n_0}\right)_\beta - \left(\frac{n - n_0}{n_0}\right)_\alpha\right]$$

	F	Cl	Br	J	CNS	NO_3	$(SO_4)^1/_2$
H		25[2]					
Li		22	44	104	62	24	
NH_4	4						
Na		22	46	105.5	60.5	24[2]	
K			44	103	58.5		
Rb	− 1	16[1]	43	104		26	6
Cs		23					
b =	1.5	22	44	104	60	25	

Tabelle 24.

$$\underline{10^3(\Delta_n\gamma - \Delta_n\alpha)} = \frac{10^5}{m}\left[\left(\frac{n - n_0}{n_0}\right)_\gamma - \left(\frac{n - n_0}{n_0}\right)_\alpha\right]$$

	F	Cl	Br	J	CNS	NO_3	$(SO_4)^1/_2$
H		38.5[2]					
Li		35	75	172.5	100	42	
NH_4	5.5						
Na		36	75	175	103	37[2]	
K			70.5	172	96		
Rb	2	35	73	177		47	8.5
Cs		38.5					
c =	4	37	73	174	100	42	

[1]) Siehe Tabelle 3.
[2]) Nach Rubien.

Tabelle 25.

$(\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha})$ berechnet aus $1.675 \times (\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha})$

	Cl	Br	J	CNS	NO_3
beob.	37	73	174	100	42
ber.	37	74	174	100	42
Diff.	0	— 1	0	0	0

Vorliegende Untersuchungen wurden auf Veranlassung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller im physikalischen Institut der Universität Rostock ausgeführt.

Meinem verehrten Lehrer sage ich auch an dieser Stelle für das stete Interesse, mit dem er die Arbeiten verfolgte, für die vielfachen Anregungen und wertvollen Ratschläge meinen aufrichtigsten Dank.

[Aus dem Institute für Pharmakologie und physiol. Chemie zu Rostock.]

Beiträge zur Kenntnis der Bestandteile und Wirkungen der Strophanthusdrogen.

Von

Ewald Hessel.

Eingegangen bei der Redaktion am 5. Februar 1913.

I. Einiges über die wichtigsten Strophanthusarten und ihre Samen.

Strophanthus ist eine Gattung der Apocynaceae, deren griechischer Name wörtlich übersetzt „mit gedrehten Blüten“ bedeutet. Da also das griechische Wort ἄνθος darin steckt, ist die Schreibart Strophantus, die sich leider viele medizinische, chemische und pharmazeutische Autoren zuschulden kommen lassen, ein trauriger Beweis, wie unetymologisch das Denken unserer Zeit geworden ist.

Im Jahre 1865 waren, wie ich einem Artikel von E. Gilg[1]) entnehme, zu gleicher Zeit aus Ost- und Westafrika Samen bekannt geworden, aus welchen von gewissen Eingeborenenstämmen gefürchtete Pfeilgifte gewonnen wurden. Es konnte bald darauf nachgewiesen werden, dass beide Samen-Sorten von zwei verschiedenen Arten der Gattung Strophanthus abstammten, und dass sich in ihnen als wirksames Prinzip ein Glykosid Strophanthin findet. Aber erst infolge der eingehenden physiologischen Versuche Frasers, deren Veröffentlichung im Jahre 1890 erfolgte, und aus denen hervorging, dass dieses Glykosid ein wichtiges

[1]) Die Strophanthusfrage vom botanisch-pharmakognostischen, chemischen und pharmakologisch-klinischen Standpunkt, bearbeitet von Prof. Dr. E. Gilg, Prof. Dr. H. Thoms, Dr. H. Schedel. Berlin 1904.

Ersatzmittel der Digitalis ist, wurde Semen Strophanthi bzw. eine daraus hergestellte Tinktur in den Arzneischatz wohl sämtlicher Kulturnationen eingereiht. Sehr bald aber wurden neben den Samen zahlreicher, bis dahin unbekannter und auf ihre Wirksamkeit noch nicht geprüfter Arten der Gattung Strophanthus auch die Samen mehrerer anderer Gattungen der Apocynaceae als „Semen Strophanthi“ eingeführt und ihre Glykoside zum Teil als „Strophanthin“ verwertet. Notgedrungen fing man daraufhin an, die eingeführten verschiedenartigen Samen zu sortieren und auf ihre Artabstammung zu prüfen. Sehr frühzeitig half man sich in der pharmakognostischen Praxis damit, dass man nur zwei Arten, oder zeitweise die eine oder aber die andere derselben ausschliesslich, für offizinell erklärte, deren Samen durch eine, wie man glaubte, sehr charakteristische Reaktion ausgezeichnet sind, nämlich Strophanthus hispidus P. DC. aus dem tropischen Westafrika, und Strophanthus Kombé Oliv. aus dem tropischen Süd-Ostafrika. Bringt man Schnitte durch die Samen dieser beiden Arten in Schwefelsäure, so nehmen die Schnittflächen sehr bald eine intensiv grüne Färbung an, was bei den anderen Arten der Gattung nicht der Fall ist. Obgleich nun absolut keine Beobachtungen darüber vorliegen, dass diese letzteren, nicht durch die sogenannte Strophanthin-Reaktion ausgezeichneten Arten weniger wertvoll sind als Strophanthus hispidus und Strophanthus Kombé, und obgleich man sogar weiss, dass die Samen mehrerer „reaktionsloser“ Arten in ihrer Heimat als Pfeilgift liefernd bekannt sind, ja an Wirksamkeit weit über jene gestellt werden, hat man doch nur die erwähnten beiden Arten für offizinell erklärt, da sie verhältnismässig gut botanisch bekannt sind, da ihre Samen ziemlich charakteristisch zu sein schienen, sich leicht voneinander unterscheiden und sich vor allem durch diese sogenannte Strophanthin-Reaktion von den übrigen Arten der Gattung trennen lassen. Seit dem Jahre 1899 beschäftigte sich Gilg mit der Gattung Strophanthus in botanischer und pharmakognostischer Hinsicht. Er war genötigt, die einzelnen Arten und die geographischen Gebiete kennen zu lernen, welche sie einnehmen, endlich möglichst viele neue Materialien herbeizuschaffen; erst durch diese konnten die vielen Lücken geschlossen werden, welche sich bis dahin dem Bearbeiter ständig fühlbar gemacht hatten. Gilg wurde erst dadurch in den Stand gesetzt, eine Monographie über die Gattung Strophanthus zu veröffentlichen, welche alles in

botanischer Hinsicht bisher über diese Pflanzengruppe bekannt Gewordene enthält, welche manches Neue bringen konnte und vor allem sehr vielfache Fehler früherer Autoren endgültig berichtigte.

Die Variabilität der Strophanthus-Samen ist nach Gilg leider eine bedeutend grössere, als man bisher angenommen hat. Er konnte mit Bestimmtheit nachweisen, dass, abgesehen von vereinzelten seltenen Fällen, als Substitut für die Samen von Strophanthus hispidus P. DC. nur diejenigen von Strophanthus sarmentosus P. DC. in Frage kommen, welche letzteren man in der Literatur in eine ganze Reihe von „Sorten" zerlegt hat. „Im Gegensatz hierzu", so fährt Gilg fort, „ist es weder anderen Autoren, noch mir selbst gelungen, festzustellen, ob die der Kombésaat stets oder wenigstens fast stets in mehr oder weniger grosser Masse beigemengten Strophanthus-Samen von einer, oder zwei oder gar drei botanisch verschiedenen Arten abstammen. Es ist mir trotz grösster Bemühungen nicht gelungen, ausreichendes authentisches Material zu erhalten, welches gestattete, diese wichtige Frage zu lösen; und da dies auch in absehbarer Zeit nicht zu erwarten ist, dürfte es angezeigt sein, Strophanthus Kombé aus der Liste der offizinellen Pflanzen zu streichen." Nun aber hat man in Deutschland gerade diese Art offizinell gemacht.

Selbst Pharmakognosten wie Tschirsch und Oesterle ist es vorgekommen, dass ihnen beim Zeichnen der einschlägigen Tafel für den prächtigen „Anatomischen Atlas" unreines Material von Strophanthus Kombé vorgelegen hat. Schon Hartwich hat sehr zutreffend darauf aufmerksam gemacht, dass die beiden Forscher auf Taf. 78, Fig. 27, in der Samenschale von Strophanthus Kombé Kristalle abbilden, obgleich solche von allen den zahlreichen Untersuchern der Droge bei dieser Art noch niemals beobachtet worden sind. Gilg steht jetzt nicht an, zu erklären, dass er nicht imstande ist, die ihm bekannten Strophanthus-Samen anatomisch zu trennen. Schon in einer seiner ersten Arbeit „Ueber einige Strophanthus-Drogen" machte er auf eine Art dieser Gattung aufmerksam, deren Samen von den Eingeborenen des südlichen Kameruns an Wirksamkeit weit über die von Strophanthus hispidus P. DC. gestellt werden. Die betreffenden Samen waren

schon vor längerer Zeit unter der Bezeichnung „Strophanthus glabre du Gabon“ pharmakognostisch beschrieben worden; es ist ihm gelungen, mit Sicherheit festzustellen, dass diese Samen von Strophanthus gratus (Wall. et Hook.) Franch. abstammen. Strophanthus gratus (Wall. et Hook.) Franch. ist eine hochwindende Liane, welche in Westafrika in den Urwäldern des Küstengebiets von Sierra Leone im Norden bis nach Gabun (an der Kongomündung) im Süden verbreitet ist. Die Pflanze kommt, wie es scheint, nirgends in grösseren Mengen vor und findet sich nur vereinzelt in den Urwäldern, hier und da einen hohen Baum umkletternd und hoch oben in dessen Krone ihre prächtigen Blüten entfaltend, welchen später die grossen, auffallenden Früchte folgen. Diese Früchte werden im südlichen Kamerun von den im Klettern sehr geübten eingeborenen Zwergvölkern kurz vor der Reifezeit gesammelt und bilden, da die Samen das geschätzteste Pfeilgift liefern, ein nicht unwichtiges Handelsprodukt im Verkehr der Eingeborenenstämme im Hinterlande von Kamerun und sicher auch in der französischen Kolonie Gabun. Im südlichen Kamerun und in Gabun, welche ein fest geschlossenes pflanzengeographisches Gebiet bilden, hat die Pflanze, resp. ihre Früchte und Samen denselben Namen: enaeé (in Kamerun), inayé oder onayé (in Gabun). Diese Samen sind gelbbraun, ganz haarlos, während die von Strophanthus Kombé grün und behaart und die von Strophanthus hispidus braun und behaart sind. Nach Zusatz von SO_4H_2 färbt sich der Querschnitt sehr bald rötlich bis rosa, um rasch ein sattes Rot bis Violett anzunehmen. Die Samen von Strophanthus glaber müssen als identisch mit denen von Strophanthus gratus angesehen werden.

In höchst dankenswerter Weise ist die Firma: Chemische Fabrik Güstrow, Dr. Hillringhaus & Dr. Heilmann seit Jahren bemüht, in einer auf eigene Rechnung in Kamerun angelegten Plantage den Versuch zu machen, Strophanthus gratus in grossem Massstabe anzubauen und, um eine sichere Samenproduktion zu erreichen, eine künstliche Befruchtung der Blüten herbeizuführen. Da dieser Versuch mit Erfolg gekrönt war, so wäre mit dem Offizinellerklären von Strophanthus gratus zugleich ein Absatzgebiet für dieses kostbare Produkt einer unserer Kolonien geschaffen worden. Aber selbst bei Fehlschlagen dieses Versuches wäre die Firma imstande gewesen, auf Grund einer für die Sammlung der wild wachsenden Samen getroffenen Organisation

auf Jahre hinaus den Bedarf an Strophanthin dieser Strophanthusart zu decken.

II. Einiges über die verschiedenen Strophanthine.

Ich folge hier zunächst den Angaben von Thoms in der erwähnten Monographie. Seiner Ansicht nach wird ohne Gefahr eines Missverständnisses eine Bezeichnung der Strophanthine nach ihrer Abkunft am besten in der Weise ermöglicht, dass man dem Wort Strophanthin — durch Bindestrich von ihm getrennt — den kleinen Anfangsbuchstaben der Artbezeichnung des betreffenden Strophanthus voransetzt. So würde also heissen:

g-Strophanthin = Str. aus Strophanthus gratus,
h-Strophanthin = Str. aus Strophanthus hispidus,
k-Strophanthin = Str. aus Strophanthus Kombé,
e-Strophanthin = Str. aus Strophanthus Emini
u. s. f.

Für die eventuelle nachträgliche Aufnahme des Artikels Gratus-Strophanthin in das Arzneibuch würde die folgende Fassung als Richtschnur dienen können:

g-Strophanthinum cristallisatum $C_{30}H_{46}O_{12} + 9\,H_2O$.

Das aus den Samen von Strophanthus gratus Franch. erhaltene kristallisierte wasserhaltige Glykosid.

Farblose, atlasglänzende, quadratische Tafeln von bitterem Geschmacke, leicht löslich in heissem Wasser, in etwa 100 Teilen Wasser von 15°, in etwa 30 Teilen absolutem Alkohol, etwa 30 Teilen Amylalkohol löslich, schwer löslich in Essigäther, Aether und Chloroform.

Die Lösung von 0,01 in 1 gr Wasser, mit konzentrierter Schwefelsäure unterschichtet, färbt diese rosa bis rot, während die wässerige Flüssigkeit eine schmutzig grüne Färbung annimmt.

Das g-Strophanthin verliere im Trockenschrank bei 105° 20 % Feuchtigkeit; das so getrocknete Präparat schmilzt bei 187—188°.

Das g-Strophanthin soll nach dem Verbrennen einen wägbaren Rückstand nicht hinterlassen. Sehr vorsichtig aufzubewahren.

Die Zusammensetzung, die Eigenschaften und das Verhalten des aus den Samen von Strophanthus gratus isolierten Strophanthins und seiner Spaltprodukte liessen keinen Zweifel darüber bestehen, dass dieses Strophanthin mit dem von Arnaud aus dem

Ouabaïo-Holz erhaltenen und von ihm Ouabaïn genannten Glykosid volle Identität zeigt. Diese Identität konnte Thoms auch durch Vergleich mit einem Ouabaïn ermitteln, welches Prof. Arnaud in Paris ihm zur Verfügung stellte.

Im Jahre 1909 befasste sich Karl Kobert[1]) im hiesigen pharmakologischen Institute mit der chemischen Untersuchung eines von der Firma: Chemische Fabrik Güstrow dargestellten Strophanthinpräparates aus Strophanthus gratus. Es war nämlich die Frage, ob dieses Präparat mit dem Thoms'schen übereinstimmt. Die Ergebnisse der Kobert'schen Untersuchungen waren folgende:

1. Das von Dr. Hillringhaus und Dr. Heilmann, Chemische Fabrik Güstrow, gelieferte Strophanthin besitzt die gleiche molekulare Zusammensetzung wie das g-Strophanthin Thoms, nämlich $C_{30}H_{46}O_{12} + 9\,H_2O$. Diese 9 Moleküle Kristallwasser enthält das aus Wasser kristallisierte Präparat.
2. Das aus Wasser kristallisierte g-Strophanthin bildet glänzende Kristallschüppchen. Unter geeigneten Bedingungen, d. h. aus einer 10 %igen wässerigen Lösung durch langsames Abkühlen der heissen Lösung in einer Isolierkiste, erhielt die obige Firma das Strophanthin in grossen, würfelähnlichen, glänzenden Tafeln.
3. Beim Erhitzen auf 105° verlieren die Strophanthin-Kristalle rund 21 % H_2O, entsprechend 9 Molekülen.
4. Aus physiologischer Kochsalzlösung (0.9 %ig) kristallisiert nicht reines Strophanthin, sondern ein NaCl- und Kristallwasser haltiges Produkt in Form schöner langer Nadeln.
5. Bei der Spaltung des g-Strophanthin Thoms mit verdünnter Salzsäure entsteht g-Strophanthidin neben Rhamnose. K. Kobert erhielt bei seiner Spaltungsanalyse des Güstrower Handelspräparates 42.2 % harziges Strophanthidin. Heffter erhielt aus k-Strophanthin purissimum Merck 42.7 % kristallinisches Strophanthidin, während das von ihm aus g-Strophanthin abgespaltene Strophanthidin ebenfalls amorph, harzig war.

[1]) Siehe in der Arbeit von O. Wolter, Ein Ueberblick über die Entwicklung der Strophanthusfrage, Sitzungsber. u. Abhandl. der naturforschenden Gesellschaft zu Rostock, Neue Folge. Bd. II, 1910, S. 59.

6. Prof. R. Kobert fand bei seinen Versuchen mit dem g-Strophanthin (Güstrow), dass es auch nach dem Sterilisieren und Einschmelzen der wässerigen Lösung in Ampullen lange Zeit hindurch sich unzersetzt hält und eine durchaus typische Digitaliswirkung auf das Froschherz ausübt.

Bei der Umbenennung der Strophanthine ist das h-Strophanthin nach Hefftter und Sachs[1]) etwas schlecht gefahren, indem unter diesen Namen wohl auch nicht hierher gehörige Substanzen subsummiert worden sind. Es bedurfte entschieden weiterer Prüfung. Konzentrierte H_2SO_4 färbt es rot. Sein Strophanthidin ist amorph.

Das von den Genannten dargestellte Präparat ist ein amorphes, rein weisses, stäubendes Pulver von intensiv bitterem Geschmack, leicht löslich in Wasser und Alkohol, unlöslich in Aether. Mit konzentrierter Schwefelsäure betupft, färbt es sich intensiv grün. Eine recht schöne Farbenreaktion auf Strophanthin stellt übrigens auch die Liebermann'sche Cholesterinprobe dar. Löst man eine kleine Messerspitze in etwa 2 ccm Essigsäureanhydrid und lässt dann einige Tropfen konzentrierte Schwefelsäure unter Schütteln zufliessen, so tritt vorübergehend Rotfärbung auf, der, eventuell erst nach schwachem Erhitzen, eine schöne reine Grünfärbung folgt. Diese Probe ist, wie hier hervorgehoben sei, in gleicher Weise charakteristisch für das Strophanthidin. Es ergab sich für das Hispidus-Strophanthin eine Ausbeute von 45 % Strophanthidin, für Kombé-Strophanthin eine solche von 50 %. Das Strophanthidin aus Kombésamen, welches von vornherein hier nicht rein weiss, sondern als ein mehr gelbbräunliches Pulver gewonnen wurde, stimmte, nachdem es durch wiederholtes Umkristallisieren gereinigt war, in seinen Eigenschaften vollkommen mit dem aus Hispidus-Strophanthin isolierten Strophanthidin überein. Löslichkeit, Schmelzpunkt, Reaktion mit Schwefelsäure wurden gleich befunden; ebenso die optische Aktivität. Hefftter und Sachs erklären nicht nur die Strophanthidine aus h- und aus k-Strophanthin für identisch, sondern sind geneigt, auch eine Identität beider amorphen Glykoside für möglich zu halten. Schliesslich gelang es ihnen auch, ein kristallisiertes k-Strophanthin darzustellen, aber die Ausbeute an dieser Substanz ist so gering, dass es auf dem

[1]) A. Hefftter u. F. Sachs, Biochem. Ztschr. **40**, 1912, S. 83.

Arzneimittelmarkte die Konkurrenz des g-Strophanthins, das viel leichter kristallisiert, nicht wird aushalten können.

III. Kommen in den Strophanthusarten hämolytische Substanzen vor?

Heffter und Fr. Sachs[1]) fanden, dass die beiden amorphen Strophanthine aus h- und k-Samen keine Spur von hämolytischer Wirkung haben. Auch das g-Strophanthin besass solche Wirkung nicht, wohl aber das kristallisierte k-Strophanthin. Geprüft wurden alle diese Präparate aber nur an Hammelblutkörperchen.

Ich habe mich mit der Frage des Vorkommens hämolytischer Substanzen in den Strophanthusarten fast ein Jahr lang sehr eingehend beschäftigt. Ich kann gar nicht daran denken, die zahlreichen Protokolle, welche ich im Laufe der Zeit erhalten habe, hier wiederzugeben. Ich muss mich vielmehr kurz fassen und kann nur folgende Endergebnisse hier notieren.

1. In Uebereinstimmung mit Heffter und Sachs und zwar bei Versuchen, die vor der Publikation jener Arbeit angestellt worden sind, habe ich gefunden, dass amorphes reines k-Strophanthin keine Spur von hämolytischer Wirkung bei Anwendung milligrammatischer Dosen in 10 ccm 1 % Blut-Kochsalzgemisch besitzen. Die von mir am meisten verwendete Blutart war die der Plazenta des Menschen.
2. Auch das kristallisierte g-Strophanthin besitzt nicht die geringsten hämolytischen Wirkungen. Dadurch unterscheidet es sich also von dem kristallisierten k-Strophanthin.
3. Das künstlich gewonnene Strophanthidin des g-Strophanthins erwies sich ebenfalls frei von hämolytischer Kraft.
4. Das künstlich von mir hergestellte Strophanthidin des k-Strophanthins von Böhringer besass ebenfalls bei meinen Versuchen keine hämolytischen Eigenschaften.
5. Wohl aber fand ich hämolytische Eigenschaften bei der Prüfung eines früher von der Firma J. D. Riedel dargestellten und uns gütigst damals überlassenen weissen

[1]) l. c. S. 113.

Pulvers, welches als Strophanthin-Riedel bezeichnet war, und das, wie nachträgliche Anfrage ergab, aus Rückständen von k-Samen dargestellt war. Da sowohl ein späteres reines k-Strophanthin der Firma Riedel wie das k-Strophanthin von Böhringer und endlich auch eigenes selbst dargestelltes reines k-Strophanthin die Blutwirkung nicht gaben, wurde das alte Riedelsche Präparat aufs eingehendste und nach verschiedenen Methoden untersucht. Dabei gelang es, einwandfrei darzutun, dass dies Präparat ein Gemisch von hämolytisch unwirksamem k-Strophanthin mit einer bis dahin unbekannten Substanz war, die Prof. Kobert Strophanthinsäure zu nennen vorschlägt. Das Natriumsalz dieser Säure wirkt hämolytisch. Ich beschreibe diese Säure im Nachstehenden eingehend.

IV. Ueber Strophanthinsäure.

Mit diesem Namen bezeichnen wir hier also eine glykosidische, stickstofffreie und in ganz reinem Zustande wohl aschefreie Substanz, die bei mir jedoch stets noch minimale Aschemengen lieferte, von sauren Eigenschaften, welche in allen drei von uns untersuchten Strophanthussamen, d. h. in dem von Strophanthus hispidus, Strophanthus-Kombé und Strophanthus gratus, enthalten ist. Wie die drei Strophanthine weder der Formel, noch den Wirkungen nach identisch sind, so muss auch damit gerechnet werden, dass eine k-Strophanthinsäure, eine h-Strophanthinsäure und eine g-Strophanthinsäure unterschieden werden muss. Ich spreche zunächst nur über die letztere.

1. Darstellung der g-Strophanthinsäure.

Die zerquetschten frischen Samen der Ernte 1912 von Strophanthus gratus wurden mit Petroläther im Perkolator erschöpft, um Neutralfette, freie Fettsäuren, Chlorophyll und Lipoide zu beseitigen. Nach Verdunstung der letzten Petrolätherreste wurden die Samen zunächst mit etwas Aether nachgewaschen und dann mit nicht zu starkem (etwa 70 %igem) Alkohol im Perkolator so lange extrahiert, bis kein Strophanthin mehr in Lösung geht; dann schien nämlich auch alle Strophanthinsäure stets extrahiert zu sein. Man destilliert jetzt den Alkohol ab und extrahiert den

Rückstand mit erwärmtem destillierten Wasser, dem so lange tropfenweis 1 %ige Lösung von Natriumkarbonat zugesetzt wird, bis dauernd schwach alkalische Reaktion herrscht. Nun filtriert man und wäscht etwaige Rückstände noch mit etwas alkalischem Wasser nach. Das erkaltete Filtrat lässt, falls es nicht zu stark verdünnt ist, auf Salzsäurezusatz die Strophanthinsäure ausfallen, während das Strophanthin in Lösung bleibt. Auf einem Filter sammelt man die Säure und wäscht sie mit angesäuertem Wasser, um die letzten Reste Strophanthin zu entfernen. Es ist übrigens keineswegs nötig, zur Darstellung der g-Strophanthinsäure die Samen vorher zu entfetten. Man kann auch die unentfetteten Samen zerquetschen und mit Spiritus, der so stark verdünnt ist, dass er Fett kaum löst, das Gemisch von g-Strophanthin und g-Strophanthinsäure extrahieren. Auch in diesem Falle destilliert man den Alkohol ab und verfährt ganz wie oben. Falls man den Spiritus dünner als 50 %ig nimmt, wird eine albumoseartige Eiweisssubstanz der Samen mit extrahiert, die Filtrationen und Fällungen erschwert und durch die einfachen Methoden des Enteiweissens nicht zu beseitigen ist.

Die freie g-Strophanthinsäure ist in 70 %igem Alkohol gut, in Wasser (besonders kaltem) nur spurweise löslich; in freiem NaOH und in kohlensaurem Natrium ist sie leicht löslich. Aus diesen Lösungen wird sie durch organische und anorganische Säuren gefällt. Konzentrierte Essigsäure löst den Niederschlag aber wieder auf; ebenso konzentrierte Schwefelsäure.

2. Reaktionen.

Die g-Strophanthinsäure in Substanz gibt mit konzentrierter H_2SO_4 zunächst nur eine braune Farbe, aber beim Stehen der Lösung auf offenem Uhrglas an der Luft wird sie nach 2 Stunden vom Rande her rötlich und nach 3—4 Stunden prachtvoll himbeerrot. Das Spektroskop zeigt, dass nur der erste Teil des Grün und das Gelb und Rot durchgelassen werden; alles andere ist ausgelöscht. Beim Verdünnen mit konzentrierter H_2SO_4 zeigt sich ein deutlicher Streifen im Grün. Die rote Farbe ist anfangs reinrot, später mit einer violetten Nuance. Sie hält sich mehrere Tage. Diese Reaktion ist bekanntlich eine allgemeine Saponinreaktion. Sie kommt in der oben beschriebenen Weise ausgeführt dem g-Strophanthin dagegen nicht zu, obwohl auch dieses mit Schwefelsäure sich bekanntlich färbt.

Betreffs weiterer sehr bemerkenswerter Farbenreaktionen sei auf eine Arbeit von Sieburg verwiesen, die demnächst erscheinen wird.

3. Darstellung des g-strophanthinsauren Natriums.

Die nach obiger Vorschrift gewonnene Rohstrophanthinsäure löste sich in Aqua destillata bei Zusatz von Natriumkarbonat mit hellbrauner Farbe, gab aber beim Eindunsten einen Rückstand von dunkelbrauner Farbe. Es wurde zum Zwecke der Reinigung die Gesamtmenge des möglichst von Wasser befreiten g-strophanthinsauren Natriums in heissem 96 %igem Alkohol konzentriert gelöst, wobei eine dunkelbraune Verunreinigung ungelöst blieb. Die heiss gesättigte alkoholische Lösung hatte nach dem Filtrieren eine gelbe Farbe und gab nach dem Abkühlen auf Zusatz mindestens des doppelten Volumens Aether einen dottergelben Niederschlag von reinerem g-strophanthinsaurem Natrium. Dieses ist in Wasser mit gelblicher Farbe löslich. Auf Zusatz von verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure lässt es die freie Säure ausfallen. In Alkohol ist das strophanthinsaure Natrium ebenfalls löslich, in Aether nicht. Es ist zu vermuten, dass die dottergelbe Farbe dem strophanthinsauren Natrium im reinen Zustand nicht zukommt. Darüber wird die Publikation von Sieburg Aufschluss geben.

4. Darstellung von Niederschlägen durch Zusatz gewisser unorganischer Salze.

a) Die wässerige Lösung des g-strophanthinsauren Natriums wird mit Chlorbaryumlösung im Ueberschuss versetzt. Es entsteht ein voluminöser gelblicher, in Chlorbaryum unlöslicher Niederschlag, der vermutlich g-strophanthinsaures Baryum enthält. Er wird nur mit Chlorbaryumwasser, aber nicht mit Aqua destillata auf dem Filter gewaschen und dann trocken gesaugt. So dargestellt, ist er ein gelbes Pulver. Um dieses in das Natriumsalz zurückzuverwandeln, verreibt man es noch feucht in der Reibschale mit Alkohol und setzt tropfenweise nur gerade so viel verdünnte H_2SO_4 zu, bis alles Baryum in Sulfat umgewandelt und die frei gewordene Strophanthinsäure in Lösung gegangen ist. Den entstehenden Niederschlag von Baryumsulfat filtriert man ab und neutralisiert das Filtrat mit Natronlauge. Sobald Neutralität erreicht ist, dunstet man ein. In der Schale hinterbleibt stro-

phanthinsaures Natrium neben einer Spur Kochsalz als ganz hellgelbes Pulver.

b) Analog ist die Darstellung von g-strophanthinsaurem Blei. Die wässerige Lösung des g-strophanthinsauren Natriums wird mit Bleizuckerlösung im Ueberschuss versetzt. Es entsteht ein Niederschlag von g-strophanthinsaurem Blei. Dieser wird auf dem Filter gesammelt, erst mit bleiacetathaltigem, dann mit reinem Wasser gewaschen und dann trocken gesaugt. Das so gewonnene g-strophanthinsaure Blei bildet ein gelbes Pulver. Es ist in Wasser unlöslich. Um es von Blei wieder frei zu machen, ist der einfachste Weg der, dass man das in Wasser suspendierte Salz mit Schwefelwasserstoff zersetzt und die am Schwefelblei haftende freie Strophanthinsäure durch Auskochen mit Alkohol auszieht und den Alkohol abdunstet. Eine zweite Methode der Abscheidung der Säure besteht darin, dass man das Bleisalz mit Essigsäure versetzt, wobei sich das Blei wieder löst und freie g-Strophanthinsäure auf dem Filter zurückbleibt. Diese wird mit essigsaurem Wasser bleifrei gewaschen und dann getrocknet. Ein dritter Weg der Zerlegung des strophanthinsauren Bleis ist der, die Suspension des Bleisalzes in NH_3 mit Schwefelammon zu versetzen und nach Zufügen von Alkohol zu filtrieren. Auf dem Filter bleibt Schwefelblei und durch Eindunsten des Filtrats erhält man strophanthinsaures Ammonium, aus dessen wässeriger Lösung sich durch einige Tropfen verdünnte HCl die freie Strophanthinsäure ausfällen und durch Waschen chemisch rein gewinnen lässt.

c) Auch die Darstellung von g-strophanthinsaurem Kupfer verläuft in entsprechender Weise. Versetzt man die neutrale Lösung des g-strophanthinsauren Natriums mit Kupfersulfat, so entsteht eine Fällung von g-strophanthinsaurem Kupfer, das sich auf dem Filter von fremden Bestandteilen wie Zucker und Alkalisalzen leicht frei waschen lässt, aber nicht frei von Farbstoffen. Zur Zerlegung löst man das Salz in verdünntem Ammoniak und fällt mittelst Mineralsäure die freie Strophanthinsäure aus.

d) Auch mit Zinksalzen (Acetat, Sulfat etc.) sowie mit Salzen noch anderer Schwermetalle lässt sich die Strophanthinsäure quantitativ niederschlagen. Wir haben meist denen des Kupfers den Vorzug gegeben.

5. Darstellung der h-Strophanthinsäure.

Als Ausgangsmaterial dienten uns Samen von Strophanthus hispidus, die uns die Firma Gehe teils unentölt, teils entölt gratis zur Verfügung gestellt hat. Die Darstellung verlief ganz analog der für g-Strophanthussamen angegebenen. Die Samen wurden zunächst nochmals mit Aether entfettet und dann mit 96 %igem Alkohol ausgezogen. Der Verdampfungsrückstand des Alkohols wurde in schwach natronalkalischem Wasser gelöst, filtriert und das Filtrat mit verdünnter Salzsäure versetzt, wobei eine schwache Fällung entstand. Diese wurde nach dem Absetzen auf einem kleinen Filter gesammelt und bis zum Verschwinden des bitteren Geschmackes mit HCl haltigem kalten Wasser gewaschen. Sie ist die h-Strophanthinsäure. Ihr Natriumsalz ist in Wasser leicht löslich. Bei ungeschickter Darstellungsweise verliert man leicht die Säure, indem sie mit dem Strophanthin in die Abwässer geht. Bei sorgfältigem Verfahren lässt sie sich aber gewinnen. Sie ähnelt in ihren Eigenschaften so sehr der aus den Gratussamen, dass die Möglichkeit der Identität mit jener nicht von der Hand zu weisen ist.

6. Darstellung der k-Strophanthinsäure.

Diese Säure wurde aus drei verschiedenen Materialen dargestellt.

Erstens diente ein Quantum entfetteter, von der Firma Gehe & Co. gütigst uns zur Verfügung gestellten Samen als Ausgangspunkt. Diese wurden mit Alkohol erschöpft. Der Verdampfungsrückstand des alkoholischen Auszugs wurde zunächst nochmals entfettet und zwar mittelst Aether. Der nicht in Aether lösliche Teil des Verdampfungsrückstandes des Alkoholauszuges wurde in Wasser unter Zusatz von einigen Tropfen kohlensauren Natriums bei schwach alkalischer Reaktion klar gelöst, filtriert und mit verdünnter Salzsäure angesäuert, wobei ein geringer Niederschlag entstand, der nach dem Absetzen auf einem kleinen Filter gesammelt und mit Wasser bis zum Schwinden des bitteren Geschmackes gewaschen wurde. Es ist die k-Strophanthinsäure.

Zweitens diente als Ausgangsmaterial die offizinelle Tinktur, Tinctura Strophanthi. Verdunstet man 100 ccm und entfettet den Verdampfungsrückstand mit Aether, so lässt sich die Gesamtmenge des nun noch im Rückstand vorhandenen Strophanthins in mit Salzsäure angesäuertem Wasser lösen. Ungelöst

dagegen bleibt eine kleine Menge Substanz, die nun in Wasser unter Zusatz von einigen Tropfen Natriumkarbonat gelöst und daraus durch Salzsäure wieder ausgefällt wird. Dieser Niederschlag ist die k-Strophanthinsäure. Viel praktischer ist jedoch eine zweite Darstellungsart. Man setzt zu mindestens 100 ccm der offizinellen Tinktur Kupfersulfatlösung, bis nichts mehr fällt, wäscht den sich bildenden, rasch am Boden sich absetzenden blauen Niederschlag mit Wasser, zerlegt ihn auf dem Filter mit einigen Tropfen verdünnter Natronlauge und säuert das Filtrat mit Schwefelsäure an. Es bildet sich ein weisser Niederschlag, der die Gesamtmenge der Strophanthinsäure einschliesst und zur rohen quantitativen Bestimmung mit benutzt werden kann.

Drittens diente als Ausgangsmaterial ein von der Firma J. D. Riedel vor einer Reihe von Jahren geliefertes weisses Pulver mit der Aufschrift Strophanthin-Riedel. Nachträgliche Erkundigung bei der Firma über den Ursprung dieses Präparates ergab, dass es aus Rückständen dort dargestelltes k-Strophanthin war. Dieses Strophanthin hatte nun im Gegensatz zu allen andern von mir untersuchten Strophanthinen die Eigentümlichkeit, beim Ansäuern der 1 %igen wässerigen Lösung einen Niederschlag zu geben. Diesen Niederschlag erkannten wir sehr bald als k-Strophanthinsäure. Es gelang daraus sowohl das Bleisalz als das Baryumsalz darzustellen und alsdann daraus wieder die freie Säure.

7. Ausbeute an Strophanthinsäure.

In Strophanthus Kombé wurde 0,40 %, in Strophanthus hispidus 0,35 % und in Strophanthus gratus 0,25 % der völlig entölten Samen an roher Strophanthinsäure gefunden. Da die Fettmenge der Samen 34—35 % beträgt, so berechnet sich die Menge der unentfetteten Samen um den dritten Teil niedriger.

8. Spaltungsprodukte der Strophanthinsäuren.

Kocht man die drei Strophanthinsäuren mit 1 %iger Schwefel- oder Salzsäure 6 Stunden lang, so tritt unter Bildung eines sekundären Glykosides[1]) eine unvollkommene Spaltung ein. Während die drei Säuren an sich auf Fehling'sche Lösung kaum einwirken, enthalten die Filtrate der drei zerkochten Säuren eine

[1]) Vergleiche R. Kobert, Saponine, in Eulenburgs Realencyklopädie. IV. Aufl. Bd. **13**, 1913, S. 24.

Substanz, die nach Neutralisierung der vorhandenen Mineralsäure Fehling'sche Lösung energisch reduziert. Es ist also Zucker abgespalten und die Strophanthinsäuren sind daher glykosidische Säuren. Das in saurem Wasser unlösliche Spaltungsprodukt ist das schon genannte sekundäre Glykosid, welches nach der Kobert'schen Nomenklatur der Saponine auch als Anfangssapogenin[1]) bezeichnet werden kann. Es bildet bei allen drei Strophanthinsäuren eine unlösliche schwarzbraune Masse auf den drei Filtern. Diese wird mit destilliertem Wasser bis zum Verschwinden der sauren Reaktion gewaschen und zum grösseren Teil aus Essigätherlösung in entfärbterer Form erhalten. Sie löst sich alsdann leicht in alkalischem Wasser, sowie in nicht zu konzentriertem Alkohol, namentlich beim Erwärmen. Sie erinnert in ihrem Verhalten sehr an die Sapogenine und mag daher vorläufig den Namen Strophanthussäure-Anfangssapogenin tragen. Die Farbreaktionen wie z. B. die mit konzentrierter H_2SO_4 gibt sie ähnlich wie die Muttersubstanz.

Saure Saponine, also Saponinsäuren, sind schon mehrere bekannt, so die Quillajasäure, die Polygalasäure, die Melanthinsäure, die Caincasäure, die Guajakrindensaponinsäure, die Guajakblättersaponinsäure. Mit den letztgenannten drei Substanzen teilen die Strophanthussäuren die Unlöslichkeit in Wasser, namentlich beim Ansäuern. Die meisten der genannten Saponinsäuren geben bei vorsichtiger Hydrolyse ebenfalls Anfangssapogenine.

V. Wirkung des strophanthinsauren Natriums der 3 Drogen auf Blut.

1. Wirkung des g-strophanthinsauren Natriums auf Blut.

Das von der chemischen Fabrik in Güstrow bezogene, dort aus Mutterlaugen hergestellte Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums wurde teils direkt, teils nach mehrfacher Umreinigung an Blut geprüft. Es scheint mir richtig, auch die Versuche mit dem Rohprodukt hier — wenn auch nur kurz — wiederzugeben. Ich werde in gleicher Weise auch im folgenden Kapitel bei den Tierversuchen verfahren.

[1]) Einige dieser Anfangssapogenine kommen in den betreffenden Drogen neben bzw. statt der primären Glykoside vor.

Da aus der langen Reihe der Saponine nur etwa zwei so gut wie gar keine hämolytische Wirkung haben, so lag es nahe, nachdem der Saponincharakter des g-strophanthinsauren Natriums erkannt worden war, diese Substanz zunächst auf sein Verhalten zu einigen Blutarten zu prüfen. Ich habe dabei die in unserm Institute übliche Methode befolgt, die defibrinierten Blutarten 50fach mit physiologischer Kochsalzlösung zu verdünnen und in eine Reihe von Gläschen je 5 ccm davon einzufüllen. Dann kommen weiter in jedes Gläschen noch 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, z. T. ohne Gift, z. T. mit Gift in steigender oder fallender Dose. Die Gläschen bleiben bei Stubentemperatur höchstens 24 Stunden stehen. Umgeschüttelt wird nur nach dem Einfüllen.

Versuch I. Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums, Güstrow, dort nur einmal durch Ausfällen der alkoholischen Lösung mittels Aether gereinigt.

I. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm Lösung = 5 mg strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 mg strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 10 mg strophanthinsaures Natrium.
V. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.

Gar keine Hämolyse in 24 Stunden.

Ergebnis: Auf Kaninchenblut hat das Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums in einer Konzentration von 3, von 5 und von 10 : 10000, d. h. selbst bei 1 : 1000 gar keine hämolytische Wirkung.

Versuch II. 5 ccm 2%iges Kaninchenblut + 5 ccm der gelben Lösung des Natriumsalzes, d. h. 10 mg bis 25 mg Substanz selbst zeigen nach 24stündigem Stehen keine Spur von Wirkung, ebensowenig auf Pferdeblutkörperchen.

Versuch III. Mit Menschenblutkörperchen + 10 mg bis 25 mg Substanz schien langsam bei 25 mg etwas Hämolyse nach 24 Stunden einzutreten.

Ergebnis: Nach den vorstehenden 3 Versuchen war also die Wirksamkeit höchst zweifelhaft. Daher wurde das g-strophanthinsaure Natrium aus Güstrow von uns durch Ueberführung teils in die Bleiverbindung, teils in die Baryumverbindung umgereinigt, daraus wieder das Natriumsalz hergestellt und aus diesem eine Lösung hergestellt, die teils 17 mg, teils 8,5 mg in jedem ccm enthielt.

Versuch IV. Gereinigtes g-strophanthinsaures Natrium aus der Bleifällung; 2% Menschenblut.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 51 mg g-strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 17 mg g-strophanthinsaures Natrium.

Es erfolgt bei II und III fast momentaner Beginn der Hämolyse.

IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,3 ccm = 5,1 mg g-strophanthinsaures Natrium; keine Hämolyse.
V. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,1 ccm = 1,7 mg g-strophanthinsaures Natrium; keine Hämolyse.
VI. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,05 ccm = 0,85 mg g-strophanthinsaures Natrium; keine Hämolyse.

Am nächsten Morgen nur bei II und III totale Hämolyse, bei IV—VI partielle.

Ergebnis: Auf Menschenblut wirkt die durch Blei ausgefällte Strophanthinsäure in Form des gereinigten Natriumsalzes lösend, freilich auch diese nur noch bei 17 : 10000, d. h. bei 1 : 588.

Versuch V. Gereinigtes strophanthinsaures Natrium aus der Baryumfällung mit 2%igem Menschenblut.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm Lösung = 51 mg Substanz; totale Hämolyse.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm Lösung = 17 mg Substanz; totale Hämolyse.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,3 ccm Lösung = 5,1 mg Substanz; nur partiell, d. h. bei Konz. 5,1 : 10000 = 1 : 1961.
V. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,1 ccm Lösung = 1,7 mg Substanz. Spurweise Hämolyse nach 24 Stunden.

Bei III trat die beginnende Hämolyse ebenso schnell ein als bei II; bei III Konz. 1 : 588.

Ergebnis: Im Gegensatz zu der nur durch Alkohol-Aether gereinigten g-Strophanthinsäure, die bei 25 mg noch fast ganz wirkungslos ist, ist die durch Baryt und die durch Blei einmal umgereinigte bei 17 mg zu 10 ccm 2% Menschenblut stark hämolytisch wirksam.

Versuch VI. Strophanthinsaures Natrium Güstrow. Eine zweite dort durch Alkohol-Aether gereinigte Portion, d. h. es war auch diesmal nur das rohe Na-Salz in Alkohol gelöst und mit Aether gefällt worden. Diese Substanz gibt eine goldgelbe, schwach saure Lösung, welche, durch Na_2CO_3 neutralisiert, etwas dunkler gelb wird.

Lösung 1 : 100; 1 ccm = 10 mg.

I. 5 ccm 2 %iges Menschenblut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 50 mg strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 30 mg strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 10 mg strophanthinsaures Natrium.

Am nächsten Morgen keine Wirkung auf Menschenblutkörperchen.

Ergebnis: Auch in diesem Falle wirkte das aus Gratussamen gewonnene Güstrower Präparat an sich selbst bei 50 mg gar nicht.

Versuch VII. Dasselbe Präparat mit 2 %igen Pferdeblutkörperchen.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 50 mg strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 30 mg strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 10 mg strophanthinsaures Natrium.

Am nächsten Morgen keine Wirkung.

Ergebnis: Wie bei Versuch VI.

Versuch VIII. Dasselbe Präparat mit 2 %igem Kaninchenblut.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 50 mg strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 30 mg strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 10 mg strophanthinsaures Natrium.

Am nächsten Morgen keine Wirkung. Nun wurden diese drei Versuche wiederholt unter Zugabe von je 5 mg Lezithin, da z. B. Schlangengift erst nach Lezithinzugabe auf einzelne Blutarten einwirkt. Aber dieser Zusatz änderte nichts.

Ergebnis: Auf die Blutkörperchen von Mensch, Pferd und Kaninchen wirkt das nur durch Aether und Alkohol gereinigte g-strophanthinsaure Natrium der Güstrower Fabrik nicht, auch nicht bei Gegenwart von Lezithin-Merk. Also ist die nur durch Alkohol-Aether gereinigte g-Strophanthinsäure an sich zunächst ganz frei von hämolytischer Wirkung.

Versuch IX. Strophanthinsaures Natrium aus Güstrow; zweite dort durch Alkohol und Aether gereinigte Sendung, von uns durch Ueberführung in das Barytsalz und Wiederabspaltung daraus nochmals gereinigt.

Menschenblut 2%. Zeit: 11h 30 Min.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 62,5 mg g-strophanthinsaures Natrium. 4h: totale Hämolyse.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 37,5 mg g-strophanthinsaures Natrium. 4h: totale Hämolyse.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 12,5 mg g-strophanthinsaures Natrium.

Bei III ist die Konzentration 37,5 : 10000 = 1 : 267. Bei IV abends $4^1/_2$ h partielle Hämolyse; früh fast vollständig. Grenze also bei 12,5 : 10000 = 1 : 801.

Versuch X. Dieselbe, von uns ungereinigte Substanz. Katzenblutkörperchen 1%. Zeit: Abends 5h 35 Min.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 25 mg gereinigtes strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 12,5 mg gereinigtes strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 6,7 mg gereinigtes strophanthinsaures Natrium.
V. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als zweite Kontrolle.

Früh II und III total gelöst; IV nur spurweise. Grenze der totalen Lösung bei 12,5 : 10000 = 1 : 801.

Ergebnis von Versuch IX und X: Durch Umreinigen mittelst Baryumchlorid wird die g-Strophanthinsäure wirksam und zwar löst sie jetzt Menschenblut- und Katzenblutkörperchen noch bei 1 : 800 total auf.

Versuch XI. 2%iges Meerschweinblut + g-strophanthinsaures Natrium aus der Bleiverbindung der Säure von uns dargestellt.

1 ccm = 10 mg Na-Salz. Zeit: 11h 25 Min.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 10 mg g-strophanthinsaures Natrium.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 30 mg g-strophanthinsaures Natrium.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 50 mg g-strophanthinsaures Natrium.

1h: bei IV Hämolyse total, 3h: bei III Hämolyse total, 3h 30 Min.: bei II Hämolyse fast total; um 6h total. Grenze der Wirkung also bei 10 : 10000 = 1 : 1000.

Versuch XII. Das Präparat der zweiten Sendung aus Güstrow, von uns durch Ueberführen in die Barytverbindung und Wiederabspaltung daraus gereinigt.

2% Meerschweinblut; 1 ccm Lösung = 10 mg Na-Salz. Zeit: 11h 30 Min.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 10 mg Na-Salz.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 30 mg Na-Salz.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 50 mg Na-Salz.

1^h: bei IV Hämolyse, 3^h: bei III totale Hämolyse. Bei II auch früh, nur partiell.

Ergebnis von Versuch XI und XII: Beide Präparate des g-strophanthinsauren Natriums wirken bei 30 mg : 10 ccm noch total lösend, d. h. bei 3 : 1000 = 1 : 333, während das aus der Bleiverbindung auch noch bei 1 : 1000 total lösend auf Meerschweinblut wirkt. Bei der Reinigung durch Baryt geht nämlich leider etwas Substanz verloren.

Gesamtergebnis: Die im vorstehenden kurz wiedergegebenen Versuche zeigen, dass das Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums eine Substanz beigemischt oder locker gebunden enthält, welche auch durch Lösen in Alkohol und Ausfällen mit Aether nicht abgetrennt wird, und die die Wirkung des Präparates auf Blut gleich Null macht. Da Samen reich an Lipoiden sind, und da Cholesterin sich sehr leicht mit Saponinen „verankert", ist vom chemischen Standpunkte aus die Annahme möglich, dass die die hämolytischen Funktionen unserer Substanz lähmende Beimengung Cholesterin ist. Wie Ransom gefunden hat, und wie in unserem Institute viele Male bestätigt worden ist, hebt Cholesterin die hämolytische Wirkung aller Saponine total auf. So wird die Unwirksamkeit des Güstrower Präparates unter Annahme der Hypothese verständlich, dass die Strophanthinsäure sich in den Samen als lockeres Cholesterid findet. Bei Ueberführung in die Blei- oder in die Baryumverbindung wird vermutlich das Cholesterin z. T. abgespalten und dadurch erlangt das g-strophanthinsaure Natrium hämolytische Kraft. Gross ist diese zunächst aber noch nicht; sie liegt für Menschenblut-, Meerschweinchenblut- und Katzenblutkörperchen zwischen 1 : 333 und 1 : 1000; für Menschenblut speziell zwischen 1 : 588 und 1 : 801. Immerhin ist sie erheblicher als beim guajaksaponinsauren Natrium. Wie die Publikation von Sieburg zeigen wird, ist die hämo-

lytische Wirkung der ganz reinen Strophanthinsäure aber noch viel stärker.

2. Wirkung des k-strophanthinsauren Natriums auf Blut.

Obwohl ich über diese Substanz weit mehr Versuche gemacht habe als über die aus g-Samen, will ich mich doch kurz fassen und nur sagen, dass ihre hämolytische Wirkung unzweifelhaft stärker ist als die der g-Samen. Ich erhielt für Meerschweinchenblut-, Menschenblut- und für Pferdeblutkörperchen durchweg Zahlen, die zwischen 1 : 2500 und 1 : 3333 liegen.

3. Wirkung des h-strophanthinsauren Natriums auf Blut.

Mit dem strophanthinsauren Natrium aus h-Samen habe ich nur wenige Versuche angestellt und zwar an Menschenblut-, Katzenblutkörperchen und Taubenblut. Für alle drei Blutarten erhielt ich Werte, die noch etwas grösser sind als bei der aus k-Samen gewonnenen Substanz. Ich fand 1 : 3300 bis 1 : 5000. Gerade dieser starken Wirkung wegen schien mir das h-strophanthinsaure Natrium besonders geeignet zu einem Versuche der Entgiftung durch Bromwasser. Nach Professor Kobert wirkt Bromwasser, tropfenweis zu Lösungen von Saponinen zugesetzt, auf alle Saponine entgiftend. Ein Versuch mit dem Natriumsalz der h-Strophanthinsäure ergab, dass nach Zusatz von Bromwasser in Ueberschuss und nachträglicher Neutralisierung unser Natriumsalz seine starken hämolytischen Eigenschaften völlig eingebüsst hatte. Damit ist noch auf eine ganz andere Weise dargetan, dass die Strophanthinsäure wirklich zur Gruppe der Saponine gehört.

Fasse ich das über die 3 Strophanthinsäuren durch Versuche an Blut Dargetane zusammen, so komme ich zu dem Schluss, dass die Identität der drei Säuren zunächst noch zweifelhaft ist. Zwar wirken sie alle drei in dem von mir benutzten nicht ganz reinen Zustand hämolytisch, aber die Identität der Wirkung ist bei der aus Hispidussamen sehr stark, bei der aus Gratussamen ganz

gering, und die Säure aus Kombésamen steht dazwischen. Natürlich bedarf es, um die Nichtidentität auf physiologischem Wege sicher darzutun, erst der Reindarstellung der drei Säuren und eingehender vergleichender Versuche mit diesen. Immerhin zwingen meine Versuche zum mindesten zu Vorsicht und verhindern, leichtfertiger Weise von einer Identität dieser drei Substanzen schon jetzt reden zu wollen.

VI. Wirkung des g-strophanthinsauren Natriums auf Tiere.

Das von der Chemischen Fabrik Güstrow gelieferte Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums war zunächst noch nicht ganz strophanthinfrei, wurde es aber nach mehrfacher von uns vorgenommener Umreinigung. Ich lasse zunächst einige Froschversuche mit dem Rohprodukt folgen.

Versuch I. Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums, in der Fabrik durch Alkohol und Aether gewonnen.

0,5 g in 50 ccm physiologische Kochsalzlösung gelöst und

I. einer Temporaria 1 ccm subkutan = 10 mg strophanthinsaures Natrium
II. „ „ 2 ccm „ = 20 mg „ „

I. Die weibliche, sehr grosse Temporaria bekam nach $^1/_2$ Stunde Streckkrämpfe der Hinterbeine, blieb auf dem Rücken liegen, nach $^1/_4$ Stunde tot.

II. Die männliche Temporaria nach zwei Stunden tot.

Ergebnis: Auf Frösche wirkt das durch Alkohol und Aether gereinigte strophanthinsaure Natrium bei Mengen von 10 mg und wohl noch bei geringerer Dosis tödlich. Herz nicht in Systole stehen geblieben; erst beim Oeffnen des Herzbeutels trat Blasswerden und systolische Zusammenziehung des Herzmuskels ein.

Versuch III. ♂, mittelgrosse Temporaria, wird aufgespannt, Herz freigelegt.

Zeit.	Puls.	
10h 27 Min.	46 pro Min.	
29 „	46 „ „	
31 „	46 „ „	
32 „		10 mg reine Strophanthinsäure als Na-Salz (Aetherfällung) in den linken Oberschenkel.
35 „	44 „ „	
40 „	43 „ „	
45 „	42 „ „	Es scheint, als ob der Ventrikel in seiner linken Hälfte verharren will, auch während der Diastole.
50 „	44 „ „	Noch ebenso.
55 „	44 „ „	Jetzt ist die Spitze in der Tat während der Diastole fast systolisch und der rechte Rand der Kammer bisweilen.

Zeit.

11h 05 Min. Der Herzschlag wieder normaler.
20 „ Eine Art Peristaltik, bei der wurmförmige Kontraktionen über den Ventrikel laufen.
23 „ Peristaltik, Puls nicht zählbar, unregelmässig, vermindert.
28 „ Echte Peristaltik.
35 „ Ebenso.
45 „ Systolischer Stillstand der Kammer. Tier losgebunden hüpft umher, setzt sich in Hockstellung.
12h 20 „ Noch reagiert das Tier auf Reize mit Zuckungen.
23 „ Gelähmt.

Bei weiterem Reinigen verloren sich diese Wirkungen aber völlig, woraus ersichtlich ist, dass sie nur durch noch anhaftende kleine Reste von Strophanthin bedingt waren.

I. Mittelgrosser Frosch, Temporaria mit freigelegtem Herzen, erhält 1 ccm = 10 mg g-strophanthinsaures Natrium injiziert. Dieses Präparat wurde dadurch gereinigt, dass das rohe strophanthinsaure Natrium der Fabrik in heissem Alkohol gelöst und durch Aetherzusatz ausgefällt wurde. Diese Substanz wurde dann in destilliertem Wasser gelöst, mit Essigsäure ausgefällt und wieder gelöst, diesmal in physiologischer Kochsalzlösung + einigen Tropfen Na_2CO_3.

Zeit.	Puls.	
10h 07 Min.	60	
10 „	60	1 ccm injiziert.
13 „	58	
28 „	52	
36 „	52	
40 „	56	
48 „	56	
11h 05 „	56	
25 „	55	
48 „	56	
12h 00 „	50	

Das Tier bleibt gesund.

II. Ein mittelgrosser Frosch, Temporaria mit freigelegtem Herzen, erhält 1 ccm = 10 mg g-strophanthinsaures Natrium, das aus der Bleiverbindung der Säure dargestellt ist, injiziert.

Zeit.	Puls.	
10h 30 Min.	58	
31 „	58	1 ccm injiziert.
35 „	55	
40 „	52	
46 „	55	
11h 04 „	54	
24 „	54	
47 „	55	
12h 00 „	52	

Bis $3^1/_2$h keine Wirkung, früh noch normal.

Ergebnis: Die durch Essigsäurefällung aus dem mittelst Aetheralkohol vorgereinigten g-strophanthinsauren Natrium abgeschiedene und sorgfältig gewaschene Strophanthinsäure wirkt nach Neutralisation auf den intakten Frosch nicht mehr. Weiter hat das mehrmals umgereinigte g-strophanthinsaure Natrium auch keine Spur von Herzwirkung mehr auf mittelgrosse Temporarien mit freigelegtem Herzen. Dies entspricht der unten folgenden Wirkung auf Warmblüter.

Ich lasse jetzt 2 Versuche an Fischen folgen, einen mit dem Rohprodukt der Fabrik und einen mit der mehrfach umgereinigten Substanz. Fische sind für Saponinsubstanzen bekanntlich enorm empfindlich; einzelne Saponine töten, wie Kobert gezeigt hat, diese Tiere noch, auch wenn die Konzentration des Giftes im Wasser nur 1 : 300000 beträgt.

Rohprodukt von g-strophanthinsaurem Natrium, Güstrow, dort durch Alkohol und Aether abgeschieden.

9h 30 Min. wurde ein kleiner Leuciscus rutilus (Weissfisch) in einen Napf mit 3 l Wasser eingesetzt und 10 ccm einer 1 %igen Lösung aus der Baryumverbindung umgereinigten g-strophanthinsauren Natriums zugegeben; also 100 mg in 3000 = 1 : 30000.

Daneben in ebensoviel Wasser ohne Gift ein Kontrollfisch. Abends 6h, d. h. nach $8^1/_2$ Stunden, begann bei dem ersten Fisch die Wirkung des Giftes, und am nächsten Morgen war er tot, während ein Kontrollfisch noch normal war.

Ich musste zweifelhaft sein, ob hier eine Strophanthin- oder Saponinwirkung vorliegt. Zu diesem Zweck wurde das Präparat noch mehrmals umgereinigt. Alsdann erwies es sich, wie der folgende Versuch zeigt, ebenso unwirksam wie auf Frösche und auf warmblütige Tiere (Katze und Kaninchen), so auch unwirksam für Fische.

200 mg dieser Substanz, zu 3 l Wasser gesetzt, vermochten einen Leuciscus rutilus von 18—20 cm Länge binnen 24 Stunden nicht krank zu machen; vielleicht war er eher etwas erregter als unter normalen Umständen. Die Konzentration von 1 : 15000 ist also für Fische ungiftig.

Wenden wir uns nun zu Versuchen an Warmblütern.

Grosse Katze von 2600 g. Rechte Carotis mit Manometer verbunden; in die linke Jugularis communis wird injiziert. Die zur Injektion benutzten 2 Lösungen sind 2 auf verschiedene Weise gereinigte, 1 %ig gelöste (in NaCl) Präparate von g-strophanthinsaurem Natrium. Das eine war durch Alkohol-Aether und das andere durch Bleifällung gereinigt.

Zeit.	Blutdruck.	Puls.	
12h 05 Min.	um 85	51 · 4; 52 · 4	Kurve I.
08 „	um 85	52 · 4	

Zeit.	Blutdruck.	Puls.	
12h 09 Min.	85 (also unverändert)	49 · 4	Kurve II. Injektion I = 2 ccm = 20 mg strophanthinsaures Natrium.
12 „	85—90	53 · 4	Kurve III. Injektion II = 2 ccm = 20 mg strophanthinsaures Natrium. Gar keine Aenderung, am Herzen fühlt sich der Puls schön kräftig an.
15 „	90—100		
16 „	85—98		
17 „	90—95	51 · 4	
22 „		51 · 4	Ganz unverändert.
26 „	85		Verstopfung der Kanüle. Neue Kommunikation mit der Arterie, Kurve IV.
27 „	85	43 · 4; 38 · 4	Injektion III von 3 ccm = 30 mg strophanthinsaures Natrium.
30 „	80—88		Kurve V.
32 „	um 80	39 · 4	Puls schön kräftig, etwas langsamer.
34 „	80—85	41 · 4	
35 „			Injektion IV. 5 ccm = 50 mg; Kurve VI beginnt.
36 „	65—75	29 · 4	Das Tier bewegt sich lebhaft.
39 „	60	38 · 4	Kurve VII.
43 „	ca. 30	36 · 4	
44 „	30		
45 „	40—45	43 · 4	Kurve VIII. Puls fühlt sich am Herzen sehr schön kräftig an.
48 „	35—45	43 · 4	
51 „	25—35	44 · 4	Kräftig.
53 „	20—25	43 · 4	
56 „	20—25	41 · 4	
59 „	ca. 25	41 · 4	

Tier im grossen und ganzen unverändert, atmet regelmässig und kräftig, auch der Puls ist regelmässig und kräftig. Nur der Blutdruck ist andauernd erniedrigt. Das Tier wird durch Entbluten getötet.

Der Versuch ergibt, dass das mir zur Verfügung stehende g-strophanthinsaure Natrium selbst in einer Dose von 120 mg binnen $1^1/_2$ Stunde direkt ins Blut gespritzt im Gegensatz zum Strophanthin

1. weder den Blutdruck erhöht, noch
2. den Herzvagus erst reizt und dann lähmt, noch
3. das Herz lähmt.

Es ist also ein für Warmblüter, was akute Wirkung anlangt, abgesehen von Blutdruckerniedrigung, ziemlich ungiftiges Saponin, selbst wenn die Applikation intravenös in grossen Dosen erfolgt.

Ein Kaninchen von 1900 g erhielt von dem zweimal umgereinigten g-strophanthinsauren Natrium 250 mg subkutan und blieb ganz gesund.

Ein Kaninchen von 1600 g erhielt 170 mg des nach der Alkohol-Aether-Methode gereinigten g-strophanthinsauren Natriums subkutan, ohne irgendwie zu erkranken.

Fassen wir das Ergebnis aller Tierversuche zusammen, so lautet es folgendermassen:

Das mehrfach umgereinigte g-strophanthinsaure Natrium gehört wie das in unserem Institute früher von Walther Frieboes[1]) dargestellte guajakrindensaponinsaure Natrium zu den in mässigen Dosen relativ ungiftigen Saponinen. Diese Ungiftigkeit konnte für Fische, Frösche, Kaninchen und für die Katze nachgewiesen werden. Weder am Herzen, noch am Blutdruck waren selbst bei direkter Einspritzung ins Blut irgendwelche Aenderungen wahrnehmbar. Wie bei der Guajakrindensaponinsäure, so dürfte auch bei der g-Strophanthinsäure nach Einspritzung oder nach Eingeben grosser Dosen sich ein Teil unverändert im Harn wiederfinden. Trotz dieser Ungiftigkeit ist es nicht undenkbar, dass bei Eingeben der Strophanthustinkturen die Anwesenheit der Strophanthinsäure die Wirkung wesentlich modifiziert. So würde es z. B. verständlich werden, dass Catillon seit Jahren einen strophanthinsäurehaltigen, extraktförmigen Auszug der Hispidussamen als starkes Diuretikum, das Hispidusstrophanthin aber nur als Herzmittel empfiehlt mit dem ausdrücklichen Zusatz, dass die stark diuretische Wirkung ihm nicht zukomme. Hier müssen eben jetzt klinische kritische Versuche mit Gemischen von Strophanthinen mit Strophanthinsäure einsetzen. Dass die Saponine der Guajakrinde diuretisch wirken, kann nach noch nicht veröffentlichten Versuchen unseres Institutes nicht mehr zweifelhaft sein.

---

[1]) Frieboes, Beiträge zur Kenntnis der Guajakpräparate. Gekrönte Preisschrift. Rostock 1903. Mit 10 Abbildungen.

Zum Schluss möchte ich nicht unerwähnt lassen, dass das Rohprodukt des g-strophanthinsauren Natriums sich auf Blut unwirksam, auf Tiere aber wirksam erwies. Nach mehrmaliger Umreinigung trat Wirksamkeit für Blut ein, während die für ganze Tiere verloren ging. Ich bin wohl in der Lage, das Unwirksamwerden für Tiere durch Wegreinigen von Strophanthinresten zu erklären, aber das Unwirksamsein des Rohproduktes kann ich nur vermutungsweise durch noch anhaftendes Cholesterin erklären, da dieses bekanntlich die Saponinwirkungen aufs Blut aufhebt.

VII. Wirkung des Sapogenins aus g-strophanthinsaurem Natrium auf Blut.

Durch Willibald Laube[1]) ist in unserem Institute nachgewiesen worden, dass alle Sapogenine, welche überhaupt zu haben waren, hämolytisch wirken. Brandl hatte dies zuerst für das Sapogenin der Kornradensaponine angegeben. Laube zeigt dann weiter, dass einige Sapogenine bei stärkerer Konzentration nicht hämolytisch, sondern ausflockend wirken. Wenn das g-strophanthinsaure Natrium ein echtes Saponin ist, so liess sich nach Laube's Arbeit erwarten, dass es bei hydrolytischer Spaltung ein hämolytisch wirksames Sapogenin geben werde. Das zu den nachstehenden Versuchen notwendige Anfangssapogenin wurde aus g-Strophanthinsäure durch 6stündiges Zerkochen dargestellt, und zwar wurden 20 ccm 1 %ige Lösung des Natrium strophanthinicum Güstrow mit 2 ccm verdünnte H_2SO_4 zerkocht. Vor dem Zerkochen gab Fehling nur Spuren von Reduktion, nach der Zerkochung aber sehr reichlich. Das sehr voluminöse Gerinnsel des Sapogenins wurde auf dem Filter mit Aqua destillata gewaschen und dann in 20 ccm Kochsalz und 3 Tropfen NaOH gelöst, wobei es gerade neutral wurde. 1 ccm enthält also das Anfangssapogenin aus 10 mg g-strophanthinsaurem Natrium.

Versuch I. Benutzt werden gleichzeitig Kaninchenblut 2 % und Menschenblut 2 %. Bei beiden werden folgende Proben angesetzt:

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend das Sapogenin aus 30 mg Strophanthinsäure.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend das Sapogenin aus 10 mg Strophanthinsäure.

[1]) Beiträge zur Kenntnis der Wirkung einiger Sapogenine und der zugehörigen Saponine auf das Blut. Zeitschr. f. exp. Path. und Ther. Bd. X, 1911.

IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend das Sapogenin aus 3 mg Strophanthinsäure.

V. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend das Sapogenin aus 1 mg Strophanthinsäure.

VI. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend das Sapogenin aus 0,5 mg Strophanthinsäure.

Bei II, III und IV schon nach 15 Min. totale Hämolyse. Früh auch bei V bei beiden Blutarten total und bei VI bei Menschenblut total.

Ergebnis: Grenze der totalen Hämolyse für Kaninchenblut bei 1 : 10000, für Menschenblut aber bei 0,5 : 10000 = 1 : 20000 berechnet auf das Ausgangssaponin, was auf Sapogenin umgerechnet mindestens 1 : 30000 ausmacht. Die hämolytische Kraft des Sapogenins der rohen Strophanthinsäure ist stärker als die der Muttersubstanz. Bei beiden Blutarten schien bei diesen Versuchen die grösste Dose, d. h. 30 mg Sapogenin (berechnet auf Strophanthinsäure) etwas agglutinierend nebenbei gewirkt zu haben. Dies ist aber irrig. Es werden nämlich zur weiteren Prüfung dieser Frage 2 Proben von Kaninchenblutkörperchen und Menschenblutkörperchen āā mit dem Sapogenin, 50 mg entsprechend, aufgestellt. Es erfolgt aber in beiden totale Hämolyse, wenn auch nicht sofort, aber doch nach 3 Stunden. Von Agglutination oder Ausflockung ist nichts wahrnehmbar.

Versuch II. Pferdeblutkörperchen, 2%ig.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.

II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm Sapogenin = 30 mg.

III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm Sapogenin = 10 mg.

Am nächsten Morgen totale Hämolyse in beiden Gläschen.

Ergebnis: Noch bei 1 : 10000 berechnet auf Saponin erfolgt bei Mischung von Pferdeblutkörperchen mit dem Sapogeninnatrium der Strophanthinsäure völlige Hämolyse. Dies ist aber noch nicht die unterste Grenze. Siehe Versuch III.

Versuch III. Aus g-strophanthinsaurem Natrium durch Zerkochen erhaltenes Sapogenin-Natrium. Neue Darstellung. 1 ccm = 0,1 mg Sapogenin. Zeit: 11^h 10 Min. Menschenblutkörperchen, 2%ig.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.

II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 0,5 mg Sapogenin.

III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 0,3 mg Sapogenin.

IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 0,1 mg Sapogenin.

Nach 35 Minuten in II totale Hämolyse, am nächsten Morgen auch noch III.

Ergebnis: Eine Menge von 0,3 mg Sapogenin bewirkt bei Menschenblutkörperchen noch Hämolyse = 1 : 33333.

Versuch IV. Dasselbe Präparat; Pferdeblutkörperchen, 2%ig.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 0,5 mg Sapogenin.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 0,3 mg Sapogenin.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 0,1 mg Sapogenin.

Am nächsten Morgen auch bei III totale Hämolyse der Pferdeblutkörperchen.

Ergebnis: Noch bei 0,3 : 10000 = 1 : 33333 totale Hämolyse der Pferdeblutkörperchen.

Versuch V. Dasselbe Präparat; Kaninchenblutkörperchen, 2%ig.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 5 ccm = 0,5 mg Sapogenin.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 0,3 mg Sapogenin.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 0,1 mg Sapogenin.

Am nächsten Morgen in III fast totale Hämolyse.

Ergebnis: Auf die Blutkörperchen von Mensch, Pferd und Kaninchen wirkt das aus g-strophanthinsaurem Natrium durch Zerkochen erhaltene Sapogenin noch bei einer Verdünnung von 0,3 : 10000 = 1 : 33333 stark hämolytisch; bei Kaninchenblutkörperchen war allerdings die Hämolyse keine ganz völlige.

Versuch VI. Sapogenin aus g-Strophanthinsäure durch 6stündiges Zerkochen mit H_2SO_4 erhalten. Zeit: 5^h. Katzenblutkörperchen, 1%ig, frisch.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 2 mg, also 1 : 5000. Nach 15 Minuten total gelöst.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 mg, also 1 : 10000. Nach 15 Minuten total gelöst.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,5 mg, also 1 : 20000. Früh total gelöst.
V. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,2 mg, also 1 : 50000. Früh noch intakt.
VI. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 0,1 mg, also 1 : 100000. Früh noch intakt.
VII. Zweite Kontrolle.

Ergebnis: Das Sapogenin der Strophanthinsäure, berechnet auf die ungespaltene Säure, löst noch bei 1 : 20000 Katzenblutkörperchen total. Auf Sapogenin berechnet, dürfte es 1 : 30000 ausmachen. Dies stimmt genau zu den Versuchen mit Menschenblut.

Versuch VII. Dasselbe Sapogenin, berechnet auf unzerkochtes strophanthinsaures Natron, wurde am 10. XI. geprüft an 2%igem Hammelblut. Es wirkte in Mengen von 20 mg Sapogenin auf 10 ccm nur partiell hämolytisch; erst bei 50 mg Sapogenin erfolgt totale Lösung und auch hier erst nach 6 Stunden.

Ergebnis: Das g-Strophanthinsäuresapogenin wirkt, auf das Natronsalz der Strophanthinsäure berechnet, auf Katzenblutkörperchen gerade 50mal stärker als auf Hammelblut. Dies ist nicht auffällig; denn Hammelblut eignet sich zu hämolytischen Versuchen überhaupt sehr schlecht, da es sehr widerstandsfähig ist.

Versuch VIII. 2% Meerschweinblut + Sapogenin aus g-Strophanthinsäure. 1 ccm = 4 mg. Zeit: 15. XI. 11^h 50 Min.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 12 mg Sapogenin. 3^h total.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 2 ccm = 8 mg Sapogenin. 3^h total.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 4 mg Sapogenin. 5^h total.

3^h: bei II und III die Hämolyse bereits total, bei IV schon weit fortgeschritten. 5^h total.

Ergebnis: Auf Meerschweinchenblut wirkt das Sapogenin der g-Strophanthinsäure noch bei 4 : 10000, d. h. bei 1 : 2500 total hämolytisch. Ob noch bei kleineren Dosen zeigt Versuch IX.

Versuch IX. Zeit: 5^h 20 Min. 2%iges Meerschweinblut + Sapogenin aus g-Strophanthinsäure. 1 ccm = 1 mg.

I. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung als Kontrolle.
II. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 3 ccm = 3 mg Sapogenin. Früh total hämolytisch.
III. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 2 ccm = 2 mg Sapogenin. Nichts.
IV. 5 ccm Blut + 5 ccm physiologische Kochsalzlösung, enthaltend 1 ccm = 1 mg Sapogenin. Nichts.

Früh bei 3 mg noch totale Hämolyse.

Ergebnis: Grenze der totalen Hämolyse für Meerschweinchenblut also bei 3 mg : 10 g = 3 : 10000 = 1 : 3333, bezogen auf das g-Strophanthin, dessen Sapogenin verwendet worden war.

Gesamtergebnis: Das Anfangssapogenin der g-Strophanthinsäure wirkt in der Tat hämolytisch und bestätigt dadurch die Ansicht, dass die Strophanthinsäure eine echte Saponinsubstanz ist. Auffallenderweise ist die hämolytische Kraft des Sapogenins der Strophanthinsäure viel stärker als die der von mir benutzten Muttersubstanz. Dies musste den Verdacht erwecken, dass meine g-Strophanthinsäure trotz der Reinigung noch immer nicht frei sei von wirkungsstörender Beimengung. Wie richtig dieser Verdacht war, wird die Arbeit des Herrn Sieburg dartun.

VIII. Ueber Spaltung des g-Strophanthins und die Wirkung des dabei erhaltenen Spaltungsproduktes.

1. Einige orientierende Angaben über die Strophanthidine.
2. Eigene Versuche über die Spaltung des g-Strophanthins mittelst Mineralsäure.
3. Eigene Versuche über die fermentative Spaltung des g-Strophanthins.

1. Einige orientierende Angaben über die Strophanthidine.

Fraser, der Entdecker des Strophanthins, hat auch als erster daraus durch Hydrolyse ein Strophanthidin dargestellt. Catillon erhielt aus dem g-Strophanthin des Strophanthus glaber vom Gaboon, das sich als identisch mit dem später von Arnaud eingehend studierten Ouabain des Ouabaiaholzes erwies, durch Hydrolyse mittelst Säuren kein kristallisiertes Strophanthidin, sondern nur ein rotes Harz; konzentrierte Schwefelsäure färbte diese Substanz nicht grün, sondern rot.

Auch Kohn und Kulisch stellten im Jahre 1898 ein kristallinisches Strophanthin her, welches sie mit dem Arnaud'schen Präparate für identisch hielten. Es bestehen aber zwischen beiden Präparaten doch gewisse Unterschiede. Kohn und Kulisch erhielten bei Spaltung mit Salzsäure ein kristallinisches Strophanthidin. Es unterscheidet sich im Schmelzpunkte, der elementaren Zusammensetzung und durch Vorhandensein einer Methoxylgruppe von dem Fraser'schen Strophanthidin.

A. Heffter und Fritz Sachs erhielten aus Togo einwandfreie Hispidusfrüchte, aus denen sie ein amorphes Strophanthin

darstellten; mit konzentrierter Schwefelsäure betupft, färbt es sich intensiv grün.

Eine andere Probe, die zu gleicher Zeit auch für Strophanthidin charakteristisch ist, ist die Liebermann'sche Cholesterinprobe. Man löst eine kleine Messerspitze Cholesterin in ca. 2 ccm Essigsäureanhydrid, hierzu lässt man einige Tropfen konzentrierte Schwefelsäure unter Schütteln zufliessen. Es tritt vorübergehend Rotfärbung ein, der eventuell nach schwachem Erhitzen eine schöne Grünfärbung folgt. 3,4840 vol.-%ige Lösung in destilliertem Wasser dreht 13,9° nach rechts. Der Schmelzpunkt ist unscharf. Zwischen 100—105° erhitzt, verliert das h-Strophanthin 4,29 % Wasser. C = 57,27 %, H = 8,19 %, CH_3O = 4,36 %.

3—5 g h-Strophanthin wurde mit der 5fachen Menge 0,5 %iger Salzsäure im Wasserbade allmählich erwärmt, bei 75° begann die Lösung sich zu trüben. Nach wiederholtem Umschütteln schied sich das Strophanthidin kristallinisch ab. Die Ausbeute betrug nach dem Trocknen etwa 38—39 % der angewandten Menge Strophanthin. Das Kohlehydrat liess sich nicht in kristallinischer Form erhalten. Das h-Strophanthidin war ein rein weisses Pulver, zeigte unter dem Mikroskop Kristalle, teils von Prismen-, teils von Wetzsteinform. Durch wiederholtes Umkristallisieren, durch Lösen in absolutem Alkohol, Kochen mit Knochenkohle und nachträglichem Zusatz von heissem Wasser erhielt man grössere Kristalle, rhomboedrische Tafeln und zu Rosetten angeordnete Prismen; durch Zusatz von kaltem Wasser erhielt man kleinere Kristalle. Das erhaltene h-Strophanthidin färbte sich mit Schwefelsäure burgunderrot, bei Anstellung der Cholesterinprobe gab es die gleichen Farbentöne wie das g-Strophanthin. Fehling'sche Lösung wurde ganz schwach reduziert. Bei 169—173° wurde die Substanz pastös, schmolz bei 178—180° und schäumte unmittelbar danach auf. Die spezifische Drehung betrug + 41°. Das Strophanthidin war methoxylfrei. C = 66,67 %, H = 7,93 %.

Die Eigenschaften des von A. Heffter und Fritz Sachs gewonnenen h-Strophanthidins stimmen mit dem aus Böhringer'schem Kombé-Strophanthin gewonnenen k-Strophanthidin so gut überein, dass man beide für identisch halten kann. Schon Fraser bemerkt, dass er bei höherer Konzentration der Säure das Strophanthidin nur in amorphem Zustande erhielt; daher kann es kommen, dass Karsten aus dem Thoms'schen

h-Strophanthin ein amorphes h-Strophanthidin erhielt. Jedenfalls ist aber das h-Strophanthidin von Heffter-Sachs dem von Fraser-Feist chemisch ausserordentlich nahe verwandt.

Heffter und Sachs verarbeiteten ferner von Caesar und Loretz, Halle, bezogenen Samen von Strophanthus Kombé. Bei der Hydrolyse mit verdünnten Säuren schied sich ein k-Strophanthidin bei ca. 70° aus, und zwar 46,5 %. Das k-Strophanthidin stimmte mit dem vorher gewonnenen h-Strophanthidin vollkommen überein. C = 66,84 %, H = 8,20 %.

Das aus dem von Heffter und Sachs zuerst dargestellten kristallisierten k-Strophanthin gewonnene k-Strophanthidin war identisch mit dem durch Spaltung sowohl des h- wie des amorphen k-Strophanthins gewonnenen. Heffter und Sachs bereiteten eine Lösung von Strophanthin in Wasser im Verhältnis 1,6 : 100. Dazu wurde soviel HCl gesetzt, dass der Gesamtgehalt 0,5 % betrug. Nun wurde allmählich erhitzt. Bei 73° schied sich das Strophanthidin ab und zwar in einer Menge von 56—58 % der Ausgangssubstanz.

2. Eigene Versuche über die Spaltung des g-Strophanthins mittelst Mineralsäure.

Die nachstehenden kurzen Angaben sollen dartun, dass es ausserordentlich schwer ist, das g-Strophanthin auf dem Wege des Zerkochens mit verdünnter Schwefelsäure ganz unwirksam zu machen.

20 g reines kristallisiertes g-Strophanthin wurde auf unseren Wunsch hin in der Chemischen Fabrik Güstrow gemäss den Angaben von Thoms mit 240 ccm Wasser und 6 g Schwefelsäure auf dem Wasserbade 40 Stunden lang erhitzt. Am Ende dieser Zeit hatten sich 10 g Strophanthidin unlöslich abgeschieden. Die Mutterlauge, von der man doch von vornherein hätte annehmen sollen, dass sie kein unzersetztes Strophanthin mehr enthielt, wurde von mir ebenso wie das g-Strophanthidin physiologisch geprüft. Ferner habe ich mir selbst zur Kontrolle g-Strophanthidin aus Kristallen des g-Strophanthins durch Zerkochen teils mit verdünnter Schwefelsäure, teils mit verdünnter Salzsäure dargestellt und dieses ebenfalls geprüft. Alle Prüfungen bezogen sich sowohl auf hämolytische Wirkung für mehrere Blutarten, als auf die Wirkung auf das freigelegte Froschherz. Wo es nötig war, wurde

auch die Wirkung auf Kaninchen mit herangezogen. Das Ergebnis lässt sich kurz in folgenden Sätzen wiedergeben:

1. Sowohl das von mir selbst dargestellte als das in Güstrow dargestellte g-Strophanthidin erwies sich, falls es genügend mit heissem Wasser gewaschen worden war, als ungiftig. Die spezifische Wirkung aufs Herz geht also bei der Hydrolyse verloren. Ein zum Vergleich von mir gespaltenes k-Strophanthin von Böhringer lieferte ebenfalls ein unwirksames Strophanthidin. Ich darf daher wohl ganz allgemein mich dahin aussprechen, dass die Strophanthine unwirksame Aglykone liefern. Dies ist ein wichtiger Unterschied von den Saponinen, die bei hydrolytischer Spaltung Anfangssapogenine liefern, welchen die Wirkungen der Mutterglykoside noch innewohnen. Ob die Endsapogenine wirkungslos sind, ist noch nicht entschieden.
2. Von der nach 40stündiger Zerkochung erhaltenen Mutterlauge der g-Strophanthinspaltung wurde eine kleine Probe neutralisiert und am Frosch geprüft. Schon in 2 ccm liess sich eine genügende Menge unzersetzten Strophanthins nachweisen, um binnen 30 Minuten systolischen Herzstillstand am Frosch hervorzurufen. Nochmaliges Kochen des nicht neutralisierten Teiles der Mutterlauge für 2mal 12 Stunden war ebenfalls nicht imstande, die letzten Reste des g-Strophanthins zu zersetzen. Damit glaube ich bewiesen zu haben, dass die quantitative Zerlegung des g-Strophanthins auf dem Wege des Zerkochens mit verdünnter Schwefelsäure ausserordentlich schwierig ist. Anders ausgedrückt heisst dies: Das g-Strophanthin ist eine Substanz, welche der völligen hydrolytischen Spaltung sehr energisch widersteht, während eine partielle sehr leicht eintritt.

3. Eigene Versuche über die fermentative Spaltung des g-Strophanthins.

Nach dem eben angeführten Ergebnis der Spaltung durch Zerkochung mit verdünnter Schwefelsäure musste es für mich von

grösstem Interesse sein, vergleichsweise enzymatische Spaltungen des g-Strophanthins vorzunehmen. Auf diesem Gebiete liegt bisher nur eine einzige Arbeit vor. Auf diese muss ich aber ihrer Wichtigkeit wegen genau eingehen. Sie stammt von Holste[1]).

Von spaltenden Enzymen wurden Diastase, Pankreatin, Papaïn, Trypin, frischer Speichel, künstlicher Magensaft und Auszug aus Dünndarmschleimhaut verwendet. Mit diesen Enzymen versuchte Holste verschiedene Stoffe der Digitalingruppe zu spalten. Am wirksamsten erwies sich neben Magensaft das Pankreatin, das deshalb von Holste auch bei den Versuchen mit mehreren Strophanthinen verwandt wurde.

Zu 50 ccm Nährflüssigkeit, enthaltend 0,1 mg Strophanthin, wurde 0,01 g Pankreatin + 1 gtt Na-carb.-Lösung zugesetzt. Es trat dann am Froschherzen bei g-Strophanthin-Thoms in Ampullen nach $^1/_2$- und 1stündigem Stehenlassen kein Stillstand ein, ebenso nicht beim Zusetzen von 0,6 ccm Magensaft.

Die Zeit bis zum Eintritt des Ventrikelstillstandes wurde bei g-Strophanthin-Thoms-krist. bei $4^3/_4$minutlicher Digestion im Thermostaten vermehrt von 25 auf 60 Minuten. Beim Strophanthin-Böhringer blieb dagegen die Zeit bis zum Ventrikelstillstand ungefähr die gleiche, wenn 0,01 g Pankreatin + 1 gtt Na-carb.-Lösung zu 0,1 mg Strophanthin-Böhringer in 50 ccm Nährflüssigkeit zugesetzt wurden und die Zeit der Digestion im Thermostaten selbst auf $3^1/_2$ Stunden ausgedehnt wurde.

Holste kommt daher zu folgendem Ergebnis: „Am widerstandsfähigsten gegen verdauende Fermente hat sich Strophanthin-Böhringer gezeigt und am wenigsten widerstandsfähig das Strophanthin-Thoms in Ampullen, bezogen von der chemischen Fabrik in Güstrow."

Zur Kontrolle dieser Angaben Holste's über das g-Strophanthin habe ich eigene Versuche angestellt. Ich berichte darüber folgendes. Alle Versuche werden an Temporarien von mittlerer Grösse angestellt.

[1]) Ueber das Verhalten der Stoffe der Digitalingruppe gegen Fermente (Enzyme) von Dr. med. Arnold Holste. Arbeit, erschienen im 68. Band, 5 Heft des Archives für experimentelle Pathologie und Pharmakologie.

Versuch I. Es werden folgende Mischungen hergestellt und 24 Stunden stehen gelassen.

I. 2 mg g-Strophanthin-Güstrow in Ampullen + 0,01 g Papaïn.
II. 2 mg „ „ „ „ „ + 0,01 g Pepsin-Salzsäure.
III. 2 mg „ „ „ „ „ + 0,01 g Pankreatin + 1 Tropfen 1 %igen kohlensauren Natrons.

Dazu zur Kontrolle der Wirksamkeit der Fermente wird noch je eine Fibrinflocke mit 0,01 g Papaïn resp. Pepsin-Salzsäure resp. Pankreatin zusammengebracht.

Nach 24 Stunden ist die Fibrinflocke in Pankreatin so gut wie vollkommen gelöst, in Papaïn und Pepsin-Salzsäure deutlich anverdaut.

3 mittelgrosse Frösche erhalten nun die Mischungen I, II und III injiziert.

Frosch I erhält 2 mg g-Strophanthin injiziert, die 24 Stunden lang mit 0,01 g Pankreatin zusammengebracht worden sind.

Zeit.	Puls.	
12h 38 Min.	52	
40 „	52	Injektion.
45 „	60	Die Herzspitze bleibt etwas systolisch.
47 „	40	Schöne Peristaltik.
49 „		Systolischer Stillstand.

Frosch II erhält 2 mg g-Strophanthin injiziert, die 24 Stunden lang mit Papaïn zusammengebracht worden sind.

Zeit.	Puls.	
12h 38 Min.	84	
47 „	80	Injektion.
54 „	60	Die Spitze systolisch.
55 „		Systolischer Stillstand.

Frosch III erhält 2 mg g-Strophanthin injiziert, die 24 Stunden lang mit Pepsin-Salzsäure zusammengebracht worden sind.

Zeit.	Puls.	
12h 38 Min.	78	
45 „	76	Injektion.
47 „	36	Peristaltik.
51 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: Da das Strophanthin noch nach 24stündigem Stehen in der Wärme mit Ferment wirksam auf das Froschherz ist, ist bewiesen, dass es unvollkommen oder gar nicht gespalten ist. Mithin widersteht das g-Strophanthin der hydrolytischen Spaltung durch Pepsin-Salzsäure, durch Pankreatin und durch Papaïn sehr energisch, selbst wenn diese Fermente 24 Stunden lang bei 38° C. einwirken.

Der Grund des Unwirksambleibens der Fermente konnte darin liegen, dass die angewandte Strophanthinmenge zu gross war, um eine geringe Abschwächung merken zu können. Es wurden daher Versuche mit viel kleineren Dosen angestellt.

Versuch II. I. 1 mg g-Strophanthin in Ampullen + 1 Spur Pankreatin. pur. absolut. sowie 1 Tröpfchen 1 % kohlensaures Natron.

II. 1 mg Kombé-Strophanthin-Böhringer in Ampullen + 1 Spur Pankreatin. pur. absolut. und ebenfalls 1 Tropfen kohlensaures Natron.

Diese Mischungen werden 24 Stunden lang in Wärme stehen gelassen und dann je einem Frosche injiziert.

Frosch I, 30 g schwer, erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg k-Strophanthin-Böhringer in Ampullen injiziert.

Zeit.	Puls.	
11h 15 Min.	68	Vor der Vergiftung.
17 „	67	2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
22 „	64	
26 „	36	Peristaltik.
30 „	35	„
37 „	36	„
39 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: $^2/_{10}$ mg k-Strophanthin-Böhringer machen in 22 Minuten systolischen Stillstand beim Frosch.

Frosch II, 38 g schwer, erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg k-Strophanthin, s. Probe II oben, injiziert.

Zeit.	Puls.	
11h 15 Min.	58	Vor der Vergiftung.
17 „	56	2 ccm injiziert.
21 „	56	
26 „	50	
30 „	52	
37 „	48	
53 „	42	Peristaltik.
55 „	44	„
12h 15 „	24	„ , aber kein Stillstand.

Diastole sehr deutlich.

Frosch III, 40 g schwer, erhält $^2/_{10}$ ccm g-Strophanthin-Güstrow in Ampullen, das 24 Stunden mit Pankreatin verdaut wurde, injiziert. Gleichzeitig wurden $^2/_{10}$ mg reines, nicht verdautes g-Strophanthin einem 38 g schweren Frosch zum Vergleich injiziert. Beim Vergleichsfrosch trat Systole schon nach 12 Minuten ein. Beim andern war das Verhalten folgendes:

Zeit.	Puls.	
11h 45 Min.	44	2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
54 „	44	
12h 00 „	39	
45 „	28	Geringe Peristaltik, aber keine Systole.

Ergebnis: Durch das 24stündige Verdauen mit Pankreatin ist die Wirksamkeit des g-Strophanthins-Güstrow sowohl, als auch die des k-Strophanthins-Böhringer vermindert, aber nicht ganz aufgehoben worden. Beim Frosch, dem k-Strophanthin-

Böhringer injiziert wurde, trat bereits nach 36 Minuten deutliche Peristaltik auf, beim g-Strophanthin-Güstrow erst nach 1 Stunde. In diesem Falle hatte also bei Anwendung minimaler Dosen der Herzgifte die Verdauung die Wirksamkeit des g-Strophanthins stärker herabgesetzt als die des k-Strophanthins.

Versuch III. 25 g schwerer Frosch erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg g-Strophanthin, das 24 Stunden durch Pankreatin verdaut wurde, injiziert.

Zeit.		Puls.	
11h	11 Min.	66	2 ccm injiziert.
	20 „	60	
	25 „	63	Das Herz macht keine ausgiebigen Schläge.
	31 „	60	„ „ „ „ „ „
	37 „		„ „ „ „ „ „
	50 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: Trotz 24stündiger Verdauung mit Pankreatin brachten 0,2 mg g-Strophanthin binnen 40 Minuten charakteristischen systolischen Herzstillstand hervor.

Versuch IV. Es werden 3 Frösche vergiftet. I. Kleiner Frosch, 12,5 g, erhält $^1/_{10}$ mg k-Strophanthin-Böhringer injiziert, nachdem dieses Präparat 24 Stunden lang mit Pankreatin verdaut worden war.

Zeit.		Puls.	
11h	30 Min.	63	1 ccm injiziert.
	35 „	60	
	41 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: Trotz 24stündiger Verdauung mit Pankreatin brachten 0,1 mg k-Strophanthin-Böhringer bei einem kleinen Frosche nach 11 Minuten charakteristischen systolischen Stillstand hervor.

II. Mittelgrosser, 25 g schwerer Frosch erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg g-Strophanthin-Güstrow injiziert. Auch diese Dose war vorher mit Pankreatin 24 Stunden lang anverdaut worden.

Zeit.		Puls.	
10h	55 Min.	60	2 ccm injiziert.
11h	00 „	35	Peristaltik.
	07 „	30	„
	14 „	23	„
	15 „		Systolischer Stillstand.

III. Mittelgrosser, 30 g schwerer Frosch erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg kristallisiertes k-Strophanthin der Güstrower Fabrik, das 24 Stunden lang mit Pankreatin verdaut worden war, injiziert.

Zeit.	Puls.	
10h 55 Min.	70	
59 „	70	2 ccm injiziert.
11h 03 „	72	
06 „	60	
15 „	60	
20 „	61	
30 „	36	Peristaltik.
39 „	60	Manchmal Peristaltik.
45 „	62	„ „
59 „	46	Peristaltik.

Da es zu keinem Stillstand kommt, wird der Frosch später losgebunden. Er stirbt nicht.

Ergebnis: Das kristallisierte k-Strophanthin ist durch das 24stündige Verdauen mit Pankreatin ziemlich unwirksam geworden, während das Böhringer'sche Präparat in 11 Minuten systolischen Stillstand macht und das g-Strophanthin-Güstrow in 15 Minuten.

Dieser Versuch zeigt, dass das g-Strophanthin-Güstrow doch auch recht energisch der Verdauung widersteht, jedenfalls energischer als das von der Güstrower Fabrik dargestellte kristallisierte k-Strophanthin.

Versuch V an vier Fröschen. Es werden mit Pankreatin verdaut:

1. 1 ccm = 1 mg k-Strophanthin krist. von der Güstrower Fabrik 96 Stunden.
2. 1 ccm = 1 mg k-Strophanthin-Böhringer in Ampullen 72 Stunden.
3. 1 ccm = 1 mg g-Strophanthin-Güstrow in Ampullen 72 Stunden.

I. Mittelgrosser, 32 g schwerer Frosch erhält $^2/_{10}$ mg des 96 Stunden lang mit Pankreatin verdauten k-Strophanthin-Güstrow injiziert.

Zeit.	Puls.	
11h 15 Min.	72	2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
35 „	66	
45 „	60	
50 „	42	Etwas Peristaltik.
12h 00 „	28	„ „
15 „	45	Weitere 2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
25 „		Das Herz macht ganz langsam unter Peristaltik unregelmässige Schläge.
36 „		Systolischer Stillstand.

II. Mittelgrosser, 35 g schwerer Frosch erhält $^2/_{10}$ mg des 72 Stunden lang verdauten k-Strophanthins-Böhringer injiziert.

Zeit.	Puls.	
11h 15 Min.	66	
20 „	60	2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
35 „	60	

Zeit.	Puls.	
11h 45 Min.	60	Etwas Peristaltik.
52 „	30	Peristaltik.
12h 00 „	56	Keine Peristaltik.
15 „	56	Weitere 2 ccm injiziert.
25 „		Systolischer Stillstand.

III. Ziemlich grosser, 43 g schwerer Frosch erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg desselben k-Strophanthin-Böhringer, das mit Pankreatin 72 St. lang verdaut war.

Zeit.	Puls.	
11h 35 Min.	72	2 ccm injiziert.
45 „	68	
55 „	66	
12h 00 „	60	
07 „	66	Etwas Peristaltik.
15 „	36	Peristaltik.
20 „		Systolischer Stillstand.

IV. Kleiner, 29 g schwerer Frosch erhält 2 ccm = $^2/_{10}$ mg g-Strophanthin-Güstrow, das 72 Stunden mit Pankreatin verdaut wurde, injiziert.

Zeit.	Puls.	
12h 25 Min.	80	2 ccm = $^2/_{10}$ mg injiziert.
35 „	61	
40 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: Am meisten herabgesetzt durch Pankreatinverdauung war die Wirkung des kristallisierten k-Strophanthin der Güstrower Fabrik, am wenigsten die des g-Strophanthins-Güstrow und k-Strophanthin-Böhringer. Da die Einwirkung des Pankreatins bei allen Tieren 72 Stunden gedauert hatte, bei 24stündiger Verdauung aber eine Abschwächung meist kaum wahrnehmbar war, geht aus diesen Versuchen hervor, dass die kurzdauernde Einwirkung der Verdauungssäfte beim Einnehmen von Strophanthuspräparaten wohl niemals deren Wirkung aufheben, sondern nur etwas herabsetzen wird. Beim g-Strophanthin dürfte diese Herabsetzung nicht stärker sein als beim k-Strophanthin von Böhringer.

Versuch VI. Mittelgrosser, 35 g schwerer Frosch erhält 4 ccm = $^4/_{10}$ mg 7×24 Stunden mit Pankreatin verdautes g-Strophanthin-Güstrow injiziert.

Zeit.	Puls.	
10h 57 Min.	84	2 ccm injiziert.
11h 00 „	80	Weitere 2 ccm injiziert.
03 „	72	
08 „	65	
15 „	64	
18 „	24	Peristaltik.
25 „	31	„
38 „		Systolischer Stillstand.

Ergebnis: Das g-Strophanthin-Güstrow ist auch nach 7tägigem Verdauen noch nicht vollständig gespalten. Es muss also, soweit Froschversuche darüber ein Urteil verstatten, als sehr widerstandsfähig gegenüber tierischen spaltenden Enzymen bezeichnet werden. Es ist kaum denkbar, dass h-Strophanthin oder k-Strophanthin es in dieser Hinsicht wesentlich übertreffen.

Ich lasse nun einige Warmblüterversuche folgen.

Versuch VII. 3 kleine Kaninchen erhalten je 1 mg g-Strophanthin-Güstrow injiziert, nachdem das eine Milligramm 24 Stunden und das zweite 48 Stunden lang mit Pankreatin verdaut worden ist.

Das erste Kaninchen von 585 g erhält 1 mg unverdautes g-Strophanthin-Güstrow injiziert. 10^h 18 Min.

10^h 33 Min. bekommt dies Kaninchen, also das mit dem nicht verdauten Strophanthin, Krämpfe, gleich darauf exitus.

Sektion: Linker Ventrikel des Herzens systolisch.

Das zweite Kaninchen von 590 g erhält das Milligramm, welches 24 Stunden und das dritte gleich schwere Tier das Milligramm, welches 48 Stunden lang mit Pankreatin verdaut worden ist, injiziert um 10^h 25 Min.

10^h 40 Min. Krämpfe und exitus bei beiden.

Sektion: Das Herz macht bei dem dritten Tier noch ein paar unvollkommene Schläge; der linke Ventrikel ist weniger ausgesprochen systolisch

Ergebnis: Die eintägige sowie die zweitägige Verdauung haben das g-Strophanthin-Güstrow nicht soweit geschädigt, dass wir am Warmblüter einen Unterschied beider Wirkungen voneinander zuungunsten der zweitägigen Verdauung feststellen könnten. Beide Präparate wirken wie unverdautes Strophanthin.

Versuch VIII. 4 Kaninchen werden benutzt. Das zu diesem Versuche benutzte kristallisierte k-Strophanthin war von der Chemischen Fabrik Güstrow geliefert.

I. Ein kleines Kaninchen von 645 g erhält 1 mg unverdautes kristallinisches k-Strophanthin der Chemischen Fabrik Güstrow subkutan injiziert. 10^h 30 Min. Es tritt nur wenig Wirkung ein, so dass das Tier bald wieder normal ist.

II. Ein anderes kleines Kaninchen von 590 g erhält 1 mg 72 Stunden lang mit Pankreatin verdautes kristallinisches k-Strophanthin injiziert. 10^h 32 Min. Es bleibt gesund.

Beide Kaninchen zeigen also keine Veränderungen und erholen sich vollständig.

III. 10^h 45 Min. erhält ein kleines Kaninchen von 650 g 2 mg 72 Stunden lang mit Pankreatin verdautes kristallinisches k-Strophanthin injiziert. Bis 11^h 45 Min. zeigt sich noch keine Veränderung am Kaninchen und auch fernerhin nicht.

IV. 10h 50 Min. erhält ein kleines Kaninchen von 575 g 2 mg unverdautes kristallinisches k-Strophanthin injiziert.

11h 25 Min. Starke Pulsverlangsamung.
45 „ Grosse Unregelmässigkeit im Pulsschlag und Dyspnöe. Das Tier ist schwer vergiftet.
12h 00 „ Der Puls ist wieder schneller und regelmässiger geworden.

Auch diese beiden Kaninchen sind am nächsten Tage nicht nur noch am Leben, sondern haben sich sogar vollkommen erholt.

Ergebnis: Auf 2 mg des von der Chemischen Fabrik Güstrow dargestellten kristallinischen Strophanthins der Kombésamen hat 72stündige Pankreatinverdauung so stark schädigend eingewirkt, dass eine Wirkung selbst auf ein ganz kleines Kaninchen überhaupt nicht eintrat, während dieselbe Dosis desselben Präparates ohne Verdauung erheblich giftig wirkte.

Versuch IX. 2 Kaninchen werden benutzt. I. Kleines, 700 g schweres Kaninchen erhält 10h 45 Min. 3 mg kristallinisches k-Strophanthin der Güstrower Fabrik, das 3 Tage lang mit Pankreatin verdaut wurde, injiziert.

11h 45 Min. frisst das Kaninchen noch angebotenes Futter.

Am nächsten Tage ist das Kaninchen wieder vollständig normal und hat auch in der Zwischenzeit keine Veränderung gezeigt.

II. 10h 48 Min. erhält ein kleines, 650 g schweres Kaninchen 3 mg unverdautes kristallinisches k-Strophanthin injiziert.

11h 15 Min. Unregelmässiger Puls und Dyspnöe, das Kaninchen ist sehr unruhig.
25 „ Das Kaninchen richtet sich nicht aus der Seitenlage auf.
45 „ Krämpfe und exitus.

Sektion zeigt normale Befunde, Herz nicht systolisch.

Ergebnis: Die an sich letale Dose von 3 mg des kristallinischen k-Strophanthins der Güstrower Fabrik wurde durch Verdauung mit Pankreatin wirkungslos. Da beim g-Strophanthin dies bei mehreren Versuchen nicht der Fall war, ist bewiesen, dass ersteres mehr vom Pankreatin angegriffen wird als das g-Strophanthin-Güstrow.

Versuch X. 2 Kaninchen werden benutzt. I. Kleines, 630 g schweres, weisses Kaninchen erhält 3 mg reines k-Strophanthin-Böhringer in Ampullen injiziert. 10h 45 Min.

11h 30 „ Tod ist ohne Krämpfe eingetreten.

Sektion ergibt Systole des Herzens.

II. Kleines, 850 g schweres, graues Kaninchen erhält 3 mg 2 × 24 Stunden mit Pankreatin verdautes k-Strophanthin-Böhringer injiziert. 10h 48 Min.

11h 45 Min. Starke Pulsbeschleunigung.
51 „ Ganz vereinzelte Pulsschläge.
56 „ Tod ist ohne Krämpfe eingetreten.
Sektion: Herz in Mittelstellung.

Ergebnis: Das k-Strophanthin-Böhringer ist durch 2tägige Verdauung mit Pankreatin nicht erheblich geschwächt, jedoch immer noch mehr als g-Strophanthin-Güstrow (s. Versuch VII). Am meisten wird in seiner Wirkung das kristallinische k-Strophanthin der Güstrower Fabrik durch die Verdauung geschädigt. Es kann auf keinen Fall als mit dem Böhringer'schen identisch bezeichnet werden. Man bekommt den Eindruck, dass es schon durch den Prozess der Ueberführung in den kristallinischen Zustand molekular angegriffen ist. So lange keine Analysen dieses Präparates vorliegen, ist dieser Verdacht jedenfalls berechtigt.

Schlussresultat über alle Spaltungsversuche.

Sowohl bei den Spaltungen mit Schwefelsäure, als bei denen mit Pankreatin hat sich das g-Strophanthin widerstandsfähiger erwiesen, als zu erwarten war; namentlich die völlige Spaltung bis zur Unwirksamkeit war kaum zu erreichen. Die Angaben von Holste stimmen also zu den von mir gewonnenen Ergebnissen nicht ganz. Das wirklich strophanthinfreie Strophanthidin erwies sich für Warm- und Kaltblüter als unwirksam.

Wie weit eine Kombination der drei Strophanthine mit den entsprechenden Strophanthinsäuren die Wirkung auf wassersüchtige Patienten beeinflusst, müssen weitere Versuche zeigen. Ich freue mich wenigstens, die Anregung zu solchen geben zu können.

Ueber die magnetische Energie von Elektro- und Stahlmagneten und über den wahren Magnetismus.

Von

R. H. Weber-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 12. April 1913.

1. In der Zeitschrift „Elektrotechnik und Maschinenbau“ [1]) kommt Herr P. Schiemann zu dem Schluss, dass in einem permanenten Magneten nicht die magnetomotorische Kraft, sondern der Kraftlinienstrom konstant sein müsse, weil sonst ein Widerspruch gegen das Energieprinzip resultiere. Verschiedene experimentelle Untersuchungen [2]) sprechen aber entschieden für die Konstanz der magnetomotorischen Kraft, und es ist deshalb wohl angebracht, zu zeigen, dass sich diese durchaus dem Energieprinzip fügt. Das Folgende mag als eine Ergänzung einer früheren Arbeit von R. Gans und mir [3]) angesehen werden.

2. Bezeichnungen. Wir wollen uns der folgenden Bezeichnungsweise bedienen.

Es sei

$\mathfrak{H}$ der magnetische Feldvektor, seine Komponenten H_x, H_y, H_z.

μ die Permeabilität; $\mu = 1$ im Aether.

---

[1]) „Energieumwandlung bei der Ankerbewegung der Elektromagnete und permanenten Magnete“. Elektrotechnik und Maschinenbau. Zeitschrift des Elektrotechnischen Vereins in Wien. 1913.

[2]) R. H. Weber, Ann. d. Phys. **16**, S. 172, 178. 1905. E. Kempken, Ann. d. Phys. **20**, S. 1017. 1906. P. Gehne, Ann. d. Phys. **28**, S. 553. 1904.

[3]) R. Gans u. R. H. Weber, Ann. d. Phys. **16**, S. 172. 1905.

$\mathfrak{P} = \mu\mathfrak{H}$ die „diamagnetische Polarisation“. P_x, P_y, P_z.

$\mathfrak{J}$ die Magnetisierung, das magnetische Moment der Volumeneinheit. Ihre Komponenten J_x, J_y, J_z.

(1.) $\mathfrak{B} = \mathfrak{P} + 4\pi\mathfrak{J}$ die „Induktion“ (vektoriell addiert), $B_x = P_x + 4\pi J_x$.

(2.) $A = \int_{\mathfrak{b}} H_s\,ds$ die magnetomotorische Arbeit über die geschlossene Kurve s, die durch das Symbol $\mathfrak{b}$ bezeichnet sei. Sie soll kurz „m. m. A.“ genannt werden.

(3.) $E = \int_{\mathfrak{b}} \frac{B_s}{\mu}\,ds$ die magnetomotorische Kraft (kurz „m. m. K.“).[1])

Ferner sei

i die elektrische Stromstärke, also nicht die Stromdichte. Die vektoriellen Eigenschaften der letzteren spielen für uns keine Rolle.

Diese Bezeichnungen schliessen sich an die von E. Cohn im wesentlichen an. Es ist aber μ anders definiert. Bei Cohn ist in Aether $4\pi\mu = 1$, nach unserer Bezeichnung dagegen $\mu = 1$. Daraus folgt weiter: Unser $\mathfrak{P}$ ist das Cohnsche $4\pi\mathfrak{H}$. Unser $\mathfrak{B}$ das Cohnsche $4\pi\mathfrak{B}$. Unser $\mathfrak{J}$ und das Cohnsche J sind identisch.

3. Allgemeine Gesetze.

Es ist überall

(4.) $$\text{div. } \mathfrak{B} = 0, \quad \int_{o} B_n\,do = 0,$$

wenn o eine geschlossene Oberfläche bedeutet. Der Vektor $\mathfrak{B}$ hat nirgends Quellpunkte.

Es ist für permanente Magnete

(5.) $$A = \int_{\mathfrak{b}} H_s\,ds = 0,$$

für Elektromagnete

$$E = A = 4\pi\Sigma i,$$

[1]) Die Namen „m. m. A.“ und „m. m. K.“ sind nicht aus einem und demselben Nomenklatursystem zu erklären. Die „m. m. A.“ ist die Arbeit, die die magnetischen Kräfte leisten, wenn sie einen Magnetpol der Stärke 1 auf der geschlossenen Kurve einmal herumführen. Die „m. m. K.“ entspricht der elektromotorischen Kraft, wenn man den „Kraftlinienstrom“, den Strom der $\mathfrak{B}$-Linien, mit dem elektrischen Strom in Parallele setzt. Vgl. Gans u. Weber, Ann. d. Phys. **16**, S. 172 u. f.

[2]) Vgl. E. Cohn, Das elektromagnetische Feld. Gans u. Weber, Ann. d. Phys. **16**, S. 172 u. f.

wo Σi die von der geschlossenen Kurve in (2.), (3.) umzingelte Gesamtsstromstärke bedeutet.

Für eine Kurve, die alle n Windungen eines Elektromagneten durchsetzt, ist $\Sigma i = ni$. Allgemeiner soll die Summe aller umzingelten Ströme kurz mit $\bar{i}$ bezeichnet werden. Dann ist also für Elektromagnete

$$E = A = \oint_{\mathfrak{S}} H_s \, ds = 4\pi \bar{i}. \tag{6.}$$

(7.) Es ist $\mathfrak{J}$ nur innerhalb permanenter Magnete nicht gleich Null.

Für permanente Magnete ist[1])

$$E = 4\pi \int_S^N \frac{J_s}{\mu} ds. \tag{8.}$$

Hierin sind S, N Ein- und Austrittstelle einer $\mathfrak{B}$-Linie im permanenten Magneten (vgl. Fig.). N liegt in der Gegend des Nord-, S in der Gegend des Südpols des Magneten. Aus diesem E berechnet sich der Induktionslinienfluss, wenn w_i, w_a innerer und äusserer magnetischer Widerstand sind:

$$B \cdot dq = \frac{E}{w_i + w_a}; \quad w = \int \frac{ds}{\mu \, dq}. \tag{9.}$$

4. Es sei der allgemeine Fall betrachtet, dass der Magnet sowohl permanenter, als gleichzeitig Elektromagnet sei. Für ersteren soll die Magnetisierung J und damit gleichzeitig die m. m. K.[2]) konstant sein bei allen Veränderungen der Verankerung, d. h. bei allen Aenderungen des äusseren magnetischen Widerstandes. Von Hysteresis und Permeabilitätsänderungen mit dem Felde soll abgesehen werden. Diese Konstanz möge durch die zitierten Arbeiten als bewiesen betrachtet werden. Für den Elektromagneten soll vor und nach der Veränderung der Verankerung (Ankeranziehung) der magnetisierende Strom derselbe sein. Während einer Ankeranziehung wird er durch Induktion variabel sein.

Die gesamte magnetische Energie eines Raumes τ ist

$$W = \frac{1}{8\pi} \int_\tau \mu H^2 d\tau = \frac{1}{8\pi} \int \mu (\mathfrak{H}\mathfrak{H}) \, d\tau = \frac{1}{8\pi} \int (\mathfrak{B}\mathfrak{H}) \, d\tau,$$

wobei die Klammer das skalare Produkt andeutet. Daraus nach (1.)

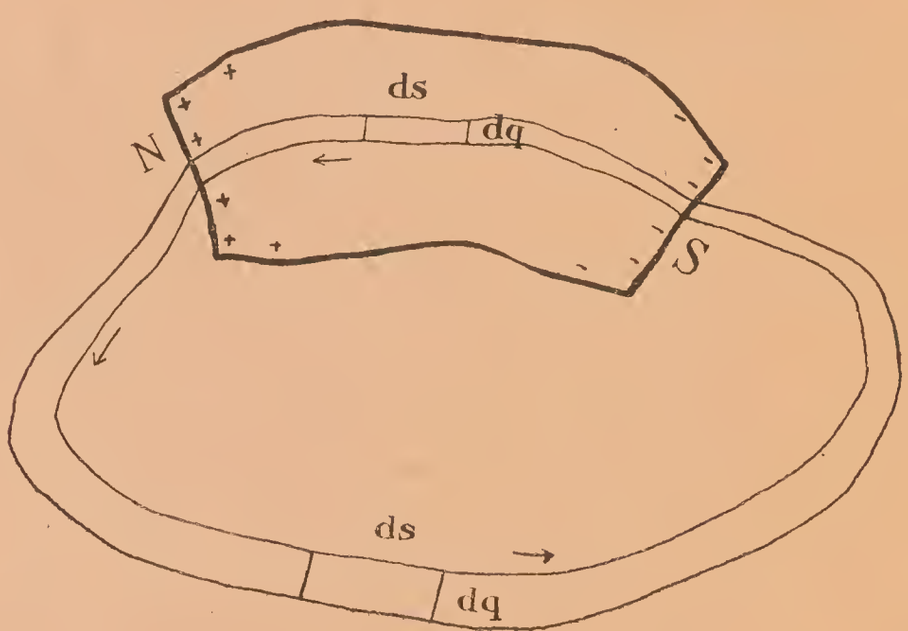
[1]) Gans u. Weber, l. c. S. 175. Der Faktor 4π tritt hier dazu wegen der von der Cohnschen abweichenden Definition der Permeabilität μ.

[2]) Gans u. Weber, l. c. S. 175 unten.

$$(10.) \qquad W = \frac{1}{8\pi}\int_{\tau}(\mathfrak{B}\mathfrak{H})\,d\tau - \frac{1}{2}\int_{\tau_0}(\mathfrak{J}\mathfrak{H})\,d\tau.$$

Das zweite Integral braucht nur über den Raum τ_0 des Magneten erstreckt zu werden, da ausserhalb dieses $\mathfrak{J}$ verschwindet.

5. Wir denken uns jetzt den Raum τ in $\mathfrak{B}$-Röhren von unendlich kleinem Querschnitt dq zerlegt. Eine solche $\mathfrak{B}$-Röhre ist in der Figur gezeichnet. Es sei ds das Längselement einer solchen



Röhre, die also ganz von $\mathfrak{B}$-Linie erfüllt ist. Dann können wir als Volumenelement den Zylinder $dq \cdot ds$ auffassen. Wegen (4.) ist längs der ganzen Röhre $B \cdot dq = \text{konstant}$.

Es ist ferner

$$(\mathfrak{B} \cdot \mathfrak{H}) = B \cdot H \cdot \cos(\mathfrak{B}, \mathfrak{H}) = B \cdot H_s,$$

wenn H_s die Komponente von $\mathfrak{H}$ in der Richtung s der Röhre bedeutet. Dann wird die Energie der ganzen Röhre nach (10.)

$$(11.) \qquad dW = \frac{1}{8\pi} B\,dq \int_{\bigcirc} H_s\,ds - \frac{1}{2}\int_{d\tau_0}(\mathfrak{J}\mathfrak{H})\,d\tau,$$

worin $d\tau_0$ der Raum ist, den die $\mathfrak{B}$-Röhre innerhalb des permanenten Magneten erfüllt. Nach (5.), (6.) ist demnach

$$(12.) \qquad W = \frac{1}{2}\int_{q} i\,B\,dq - \frac{1}{2}\int_{\tau_0}(\mathfrak{J}\mathfrak{H})\,d\tau,$$

worin q der Querschnitt aller $\mathfrak{B}$-Röhren ist. In vielen Fällen kann q gleich dem Querschnitt des Magneten — etwa in der Indifferenzzone — angenommen werden.

6. Da für rein permanente Magnete $i = 0$, für reine Elektromagnete $\mathfrak{J} = 0$ ist, folgen die beiden Spezialfälle:

Im Elektromagnet ist

$$W = \frac{1}{2}\int_q \bar{i}\,B\,dq. \tag{12'.}$$

Im permanenten Magnet

$$W = -\frac{1}{2}\int_{\tau_0} (\mathfrak{J}\mathfrak{H})\,d\tau. \tag{12''.}$$

Im Innern permanenter Magnete ist $\mathfrak{J}$ vom negativen nach dem positiven Pole hingerichtet, $\mathfrak{H}$ vom positiven nach dem negativen, wenn der Magnet die einzige Ursache eines magnetischen Feldes ist. $\mathfrak{J}$ und $\mathfrak{H}$ bilden also im wesentlichen einen stumpfen Winkel miteinander, so dass $(\mathfrak{J}\mathfrak{H})$ wesentlich negativ wird. Dadurch wird, wie erforderlich, die Energie des permanenten Magneten nach (12''.) wesentlich positiv. Ist l die zu $\mathfrak{H}$ entgegengesetzte Richtung, so wird

$$W = +\frac{1}{2}\int_{\tau_0} J_l \cdot H\,d\tau, \tag{13.}$$

worin nun J_l und H im allgemeinen beide positiv sind.

7. Wir können auch setzen

$$(\mathfrak{J}\cdot\mathfrak{H}) = \frac{1}{\mu}(\mathfrak{J}\mathfrak{B}) = \frac{1}{\mu}(\mathfrak{J}\mathfrak{B}) - \frac{4\pi}{\mu}(\mathfrak{J}\mathfrak{J}),$$

so dass aus (12.) wird

$$W = \frac{1}{2}\int_q \bar{i}\,B\,dq + \left\{\frac{2\pi}{\mu}\int_{\tau_0} J^2\,d\tau - \frac{1}{2\mu}\int_{\tau_0} (\mathfrak{J}\mathfrak{B})\,d\tau\right\}. \tag{14.}$$

Bilden wir im Magneten eine $\mathfrak{B}$-Röhre, längs der also B dq konstant ist, und zerschneiden wir diese in Elemente $d\tau = dq\,ds$ (Fig.), wo also s die Richtung von $\mathfrak{B}$ ist, so wird aus dem letzten Glied in (14.) nach (8.), (9.)

$$\frac{1}{8\pi}\int_q B\,dq \int_S^N \frac{4\pi J_s}{\mu}\,ds = \frac{1}{8\pi}\int_q E\,B\,dq = \frac{1}{8\pi}\sum_q \frac{E''^2}{w_i + w_a}. \tag{15.}$$

E'' soll die m. m. K. im Stahlmagneten bedeuten. Hier ist über alle Induktionsröhren zu summieren, die der Magnet besitzt. E kann von Induktionsröhre zu Induktionsröhre variieren.

7. Analog kann man für Elektromagnete das folgende ableiten. Es ist

$$\int_b \frac{B}{\mu}\,ds = B\,dq \int_b \frac{ds}{\mu\,dq} = B\,dq\,(w_i + w_a)$$

und nach (6.) wieder

$$B\,dq = \frac{E'}{w_i + w_a}; \quad E' = 4\pi\bar{i}.$$

Deshalb kann man das erste Glied in (14.) auch schreiben

$$\frac{1}{8\pi}\Sigma\frac{E'^2}{w_i + w_a},$$

und es wird nun allgemein

$$(16.) \qquad W = \frac{1}{8\pi}\Sigma_q\frac{E'^2}{w} + \frac{2\pi}{\mu}\int_{\tau_0} J^2\,d\tau - \frac{1}{8\pi}\Sigma_q\frac{E''^2}{w},$$

worin $w = w_i + w_a$ der gesamte magnetische Widerstand einer Induktionsröhre ist,

$$E' = 4\pi\bar{i}; \quad E'' = 4\pi\int_S^N \frac{J_s}{\mu}\,ds$$

die magnetomotorischen Kräfte des Elektromagneten und des Stahlmagneten bedeuten.

8. Das 2. Glied rechts in (16.) ist nach unserer Voraussetzung konstant bei allen Variationen des äusseren Widerstandes, also unabhängig von der Art der Verankerung. Der variable Teil der Energie ist also

$$(17.) \qquad \overline{W} = \pm\frac{1}{8\pi}\Sigma\frac{E^2}{w},$$

wo das $+$-Zeichen für Elektromagnete, das $-$-Zeichen für permanente Magnete gilt. Allgemein also ist für Elektromagnete

$$(17'.) \qquad W = \frac{1}{8\pi}\Sigma\frac{E^2}{w},$$

für permanente Magnete

$$(17''.) \qquad W = \frac{2\pi}{\mu}\int_{\tau_0} J^2\,d\tau - \frac{1}{8\pi}\Sigma\frac{E^2}{w}.$$

Daraus folgt: Dieselbe Veränderung, die eine Zunahme der Energie des Elektromagneten zur Folge hat, hat eine ebenso grosse (vgl. S. 187 · Anm. 2) Energieabnahme beim permanenten Magneten zur Folge.[1])

Gehen wir von dem Grundsatz aus, dass die Ankeranziehung stets so erfolgt, dass der magnetische Widerstand abnimmt, so folgt aus (17'.), (17''.), dass dabei W für Elektromagnete zu-, für permanente Magnete abnimmt.

[1]) Diesen Punkt hat Herr P. Schiemann l. c. wohl übersehen. Aus dem Verhalten beim Elektromagneten schliesst er auf eine Zunahme der Energie bei der Ankeranziehung eines Stahlmagneten.

Die bei der Ankeranziehung von den magnetischen Kräften geleistete Energie entstammt beim Elektromagneten der Energie des magnetisierenden Stromes, der jedoch nicht nur diese Arbeit, sondern eine doppelt so grosse Energiemenge hergeben muss, weil nämlich die magnetische Energie des Systems gleichzeitig wächst und weil diese Energiezunahme ebensogross ist, wie beim ebenso wirkenden und dieselben $\mathfrak{B}$-Linien besitzenden Stahlmagneten die Energieabnahme.

Die Energieabnahme bei der Ankeranziehung des permanenten Magneten ist natürlich direkt gleich der bei dieser Ankeranziehung geleisteten Arbeit.

9. Gibt es wahren Magnetismus? Diese Frage, die vielfach diskutiert ist, findet, wie es scheint, im vorhergehenden eine weitere einfache Erledigung.[1]) Die Frage ist die: Ist die diamagnetische Polarisation

$$\mathfrak{P} = \mu\mathfrak{H}$$

im Stahlmagneten quellpunktfrei oder nicht? Im Innern des Magneten kann man den Feldvektor $\mathfrak{H}$ niemals beobachten. Von diesem Gesichtspunkt aus steht es uns also frei, ihn im Innern des Magneten ebenso verlaufend anzunehmen, wie es im identisch nach aussen wirkenden Elektromagneten[2]) der Fall ist

Sicher sind wir ferner berechtigt, einen Vektor $\mathfrak{H}'$ aus $\mathfrak{B} = \mu\mathfrak{H}'$ im permanenten Magneten zu definieren. Dieser Vektor $\mathfrak{H}'$ hat dann im Stahlmagneten die Richtung, die im identisch wirkenden Elektromagneten das Feld $\mathfrak{H}$ hat. Es fragt sich nur, können wir über die physikalische Bedeutung dieses Vektors $\mathfrak{H}'$ im Innern des Stahlmagneten etwas aussagen? Nach unserer früheren Darstellung (S. 182 (1.)) ist er

$$\mathfrak{H}' = \mathfrak{H} + \frac{4\pi}{\mu}\mathfrak{J}.$$

Die Leugner des wahren Magnetismus (Drude) erklären nun $\mathfrak{H}'$ direkt für das magnetische Feld, die anderen $\mathfrak{H}$. Durch direkte Beobachtung lässt sich die Frage nicht entscheiden. Und es ist selbstverständlich ganz gleichgiltig, ob man $\mathfrak{H}$ oder $\mathfrak{H}'$ „Feld“ nennt.

[1]) Vergleiche dazu das von Gans und mir l. c. (Ann. d. Phys. **16**) S. 176, No. 4, Gesagte.

[2]) Wir wollen uns einen Elektromagneten und einen ebenso gebauten Stahlmagneten denken. Die Permeabilitäten in beiden seien gleich. Der magnetisierende Strom im ersteren und die Magnetisierung in letzterem seien so gewählt, dass nach aussen beide Magnete identische Felder geben.

10. Was wir aber nach unseren Ausführungen aus der Konstanz der magnetomotorischen Kraft — die wir als empirisch bewiesen ansehen wollen — entscheiden können, ist die Frage:

Ist $\mathfrak{H}$ oder ist $\mathfrak{H}'$ der Vektor, aus dem man die Energie des Magnetfeldes als

$$W = \frac{1}{8\pi}\int \mu \mathfrak{H}^2 \, d\tau \tag{18.}$$

berechnen muss?

Die Antwort lautet:

Wäre $\mathfrak{H}'$ dieser Vektor, so wäre die magnetische Energie auch für den Stahlmagneten, wie (17'.)

$$W = +\frac{1}{8\pi}\Sigma\frac{E^2}{w}.$$

Eine Ankeranziehung würde einer Vermehrung der gesamten Energie entsprechen, für die ein energetisches Aequivalent nicht vorhanden wäre. Diese Annahme widerspricht also dem Energieprinzip. Mit anderen Worten:

Der Vektor $\mathfrak{H}$, aus dem sich die magnetische Energie nach (18.) berechnet, ist also

$$\mathfrak{H} = \frac{\mathfrak{B}}{\mu} - \frac{4\pi}{\mu}\mathfrak{J}$$

und nicht

$$= \frac{\mathfrak{B}}{\mu}.$$

Dieser Vektor $\mathfrak{H}$ ist im Aussenraum die „Kraft auf den Pol 1“. Und er ist so beschaffen, dass $\mu \cdot \mathfrak{H}$ Quellpunkte in (oder auf der Oberfläche von) Stahlmagneten haben muss. Es gibt also wahren Magnetismus, und zwar wird er gefordert durch das Energieprinzip und durch die empirisch bestätigte Konstanz der magnetomotorischen Kraft in Stahlmagneten.

Experimentelle Erzeugung teratoider Geschwülste bei der weissen Maus.

Von

Hugo Bovermann.

Eingegangen bei der Redaktion am 28. Juli 1913.

Zahlreiche Arbeiten sind erschienen über die Versuche embryonale Gewebsteile auf Tiere zu übertragen, teils auf solche derselben Spezies, teils auf fremde, um dadurch Gewebswucherungen zu erzeugen, die als Geschwülste anzusehen wären. Erwähnt seien nur die Versuche von Leopold, Zahn, Birch-Hirschfeld und Garten, Wilms, Schöne, Petrow, Rössle, Freund, besonders aber diejenigen von Askanazy. Als Versuchstiere kommen Meerschweinchen, Hühner, Kaninchen, weisse Ratten und Mäuse in Betracht.

Als Erster hat Zahn (1874) Versuche gemacht, kleine Stückchen Rippenknorpel, die er resezierte, denselben oder anderen Tieren gleicher Gattung unter die Haut, Konjunktiva, in die Submaxillardrüse und Niere zu implantieren. Er fand nach Tötung der Tiere die implantierten Knorpelstückchen von Bindegewebe umgeben, aber keine progressive Veränderung, Wucherung der Zellen etc. Später nahm er zur Implantation foetales Knorpelgewebe. Es wurden trächtige Tiere getötet und die Implantation zuerst sofort, später erst nach Stunden in die oben erwähnten Organe, ferner in die Augenkammern und Hoden eingebracht. Die in die Organe eingeimpften foetalen Knorpelgewebestückchen wurden eingekapselt und vergrösserten sich. — Das Ergebnis all dieser Versuche fasst er dahin zusammen: normales Knorpelgewebe älterer Tiere reseziert und ihnen selbst oder anderen Tieren gleicher Gattung in irgendein Organ implantiert, verfällt

der Verfettung und Auflösung. Foetales Knorpelgewebe implantiert, gleich, ob Tieren derselben oder verschiedener Gattung kann fortbestehen und wuchern.

Birch-Hirschfeld und Garten machten Versuche an Kaninchen und Hühnern. Sie implantierten ganze Embryonen, nachdem diese vorher in warmer physiologische Kochsalzlösung fein zerzupft waren, um jeder Zellart für sich die Möglichkeit der Proliferation zu geben. Als Ort der Implantation nahmen sie die Leber. Es bildeten sich dann Tumoren, in denen der Knorpel stets hervortretend war. Ein breiter Wall von jungem Granulationsgewebe grenzte den Knorpelherd gegen die Lebergewebe ab.

Die Versuche mit Hühnerembryonen wurden auch von Wilms angestellt. Er zerkleinerte 5 bis 7 Tage alte Hühnerembryonen zu einem Brei, den er dann 2 bis 3 Wochen alten Hähnen und Hühnern injizierte. Es entstand eine Wucherung, die aus Plattenepithel- und Flimmerepithel, Haut und Knorpeln bestand. Er beobachtete, dass sich männliche und weibliche Tiere verschieden der Transplantation gegenüber verhielten, indem nämlich die Hähne grössere Tumoren lieferten.

Versuche mit Kaninchen, die Leopold anstellte, indem er embryonale Gewebsteile, wie Knochen, Knorpel, Haut, Haare etc. in die vordere Augenkammer, in die Bauchhöhle und in die Vena jugularis externa brachte, hatten folgendes Ergebnis: Foetaler Knorpel lebt und wächst jedesmal nach der Implantation in dem fremden Organismus fort, ja, er kann sogar auf das 2–300fache der ursprünglichen Grösse anwachsen und eine echte Geschwulst, das Enchondrom, hervorbringen. — Erwähnt seien weiter die Versuche von Petrow. Es gelang ihm beim Meerschweinchen, denen er Embryonen, Aufschwemmungen in die Niere verpflanzte, hier beinahe walnussgrosse Tumoren zu erzielen. Dagegen konnte er bei seinen Versuchen Hühnerembryonenaufschwemmungen in verschiedene Organe von Meerschweinchen, Kaninchen, Mäusen und Hunden zu implantieren, niemals einen Tumor erzeugen.

Zu ähnlichen Resultaten gelangte Rössle, der bei Implantation von Hühnerembryonen auf Hühner Tumoren erzeugte; dagegen wie Petrow bei dem Versuche Hühnerembryonen auf Tiere anderer Gattung, wie Kaninchen, Maus etc. zu verpflanzen stets negative Erfolge hatte. — Tiesenhausen, der sich gleichfalls mit der experimentellen Erzeugung von Geschwülsten durch Implantation von Embryonalgewebe beschäftigte, kam zu positiven Resultaten.

Er benutzte Hühnerembryonen, die er denselben oder andern Hühnern einimpfte. Bei den Versuchen mit Implantation von Embryonalgewebe der Säugetiere in die Bauchhöhle eines Tieres der nämlichen Art waren kleine geschwulstartige Wucherungen zu erhalten.

Es ist ein Hauptverdienst Askanazy's, die Frage über die experimentelle Erzeugung teratoider Tumoren bedeutend gefördert zu haben, indem er durch seine zahlreichen Experimente an der weissen Ratte nachwies, dass dieses Tier für die Erzeugung von Teratoiden — denn nur um teratomähnliche Geschwülste, nicht um echte Teratome handelt es sich — besonders disponiert ist. Er stellte seine Versuche in der Weise an, dass er weisse Ratten mit Embryonen derselben Art subkutan und besonders intraperitoneal impfte. Er kam dabei zu dem Ergebnis, dass die weisse Ratte eine Speziesdisposition für experimentelle Erzeugung von Teratoiden besitzt. Denn, während nach Angabe aller Autoren der Impferfolg bei den meisten in Anwendung gezogenen Tieren (Kaninchen, Meerschweinchen, Mäuse, Hühner) der Erfolg oft negativ ist, entsteht nach Askanazy bei der weissen Ratte in der Regel so gut wie immer eine teratoide Geschwulst. Ferner weist Askanazy darauf hin, dass es sich empfiehlt, den zu überimpfenden Embryonalbrei mit Stoffen vorzubehandeln, die die Wachstumsenergie anreizen sollen. Zu diesem Zwecke behandelte er den Embryonalbrei mit 4prozentigem Aetherwasser. Die Teratoide, die er durch den so vorbehandelten Embryonalbrei erzeugte, zeichneten sich durch schnelles Wachstum und Grösse aus. Eine weitere Beobachtung bei der Erzeugung von Teratoiden, auf die Askanazy hinweist, ist vor allem der, dass Gravidität- und Laktationsperiode einen entschiedenen, das Wachstum fördernden Einfluss auf die Entwicklung des Tumors haben.

Diese letzte Angabe Askanazy's wurde von Friedemann, Schwalbe und Zimmermann durch Versuche bestätigt. Als Versuchstier wurde in diesem Falle die weisse Maus genommen.

Die Untersuchungen Askanazy's wurden durch Paula Freund nachgeprüft. Ihre Untersuchungen erstreckten sich auf das Geschlecht der weissen Ratten, die Art der Vorbehandlung des Embryonalbreies, auf Gravidität und Laktation der Tiere, auf homoioplastische und autoplastische Transplantation. Das Endergebnis der Experimente war folgendes: Die Speziesdisposition

der weissen Ratte wird bestätigt, zwischen männlichen und weiblichen Tieren scheint ein Unterschied in bezug auf die Entwicklung der Tumoren zugunsten des weiblichen Geschlechts vorhanden zu sein. Das Alter der geimpften Tiere spielt für die Entwicklung der Tumoren keine Rolle. Gravidität übt auf die Weiterentwicklung der Tumoren einen fördernden Einfluss aus. Die Vorbehandlung des Embryonalbreis mit Aetherwasser, Indol, Aetherindollösungen, sowie wiederholte Einspritzungen dieser Flüssigkeiten in die Tumoren, ist für die Grössenentwicklung derselben anscheinend ohne Bedeutung. Bei vorher subkutan, mit negativem Erfolge geimpften Tieren gelingt es bei intraperitonealer Impfung noch Tumoren zu erzeugen. Eine Immunität durch einmalige Impfung wird also nicht erworben. Ein Unterschied zwischen homoio- und autoplastischer Transplantation ist nicht zu beobachten.

Während Askanazy die Speziesdisposition der weissen Ratte für die Erzeugung teratoider Tumoren erkannt hat, die ja, wie gesagt, auch von anderer Seite bestätigt worden ist, (Schwalbe, Freund) hat Schwalbe, der auch Teratoidversuche an Hühnern gemacht hatte, darauf hingewiesen, dass auch die weisse Maus ein für die Teratoidversuche geeignetes Tier ist, wenn auch bei weitem nicht in dem Masse, wie die weisse Ratte, obwohl Schöne bei seinen früheren Versuchen Mäuseembryonen Mäusen zu implantieren nur sehr geringen Erfolg hatte. Schwalbe und Friedemann fanden auch bei der weissen Maus, dass Gravidität das Wachstum begünstigt. Namentlich bei autoplastischer Transplantation erzielten sie gute Resultate, während sie bei vielen Versuchen, bei denen andere Mäuse mit den Embryonen weiblicher Mäuse geimpft wurden, keinen Erfolg hatten. Die Verimpfung von Embryonen auf die Mutter selbst scheint einen günstigen Einfluss auf das Wachstum des Tumors zu haben.

Die Technik der Versuche (Friedemann) war folgende: Eine gravide weisse Maus wurde laparotomiert. Der Uterus exstirpiert, die Embryonen mit dem Messer zu einem Brei zerkleinert und letzterer mittels einer Injektionskanüle derselben Maus subkutan und intraperitoneal injiziert. Die Vorbehandlung des Embryonalbreis mit Aetherwasser wurde gleichfalls ausgeführt. Ein abschliessendes Urteil über den Wachstum fördernden Einfluss des Aetherwassers war noch nicht zu übersehen; indessen konnte die Wahrscheinlichkeit desselben zugegeben werden.

Die Untersuchungen von Schwalbe, Friedemann und Zimmermann sind nun von mir weiter fortgeführt worden. Die Ausführung der Untersuchungen war vollkommen dieselbe, wie die oben angegebene. Die Impfung geschah bei allen weissen Mäusen nur subkutan, nicht intraperitoneal. Bei der Anordnung der Versuche waren folgende Gesichtspunkte massgebend:

I. Zusammenstellung nach Geschlecht.

II. Nach Gravidität.

III. Homoio- und autoplastische Transplantation.

Die erste Versuchsreihe betrifft männliche Mäuse, die mit Embryonalbrei subkutan geimpft wurden.

Die zweite — weibliche gravide Mäuse, die laparotomiert mit ihren eigenen Embryonen geimpft wurden.

Die dritte — weibliche, nicht gravide Mäuse, geimpft mit fremden Embryonen.

Die vierte — weibliche, gravide Mäuse mit fremden Embryonen geimpft.

Für jede Versuchsreihe wurden 20 Mäuse verwendet, also im ganzen 20 Männchen und 60 Weibchen.

Eine Anzahl reicht natürlich nicht aus, um präzise Angaben über die Häufigkeit des Angehens der Impfungen unter bestimmten Bedingungen zu machen, wenn auch wohl gegen eine vorsichtige Vergleichung der aus den einzelnen Reihen gewonnenen Resultate kaum etwas einzuwenden ist. Zu beanstanden ist es nur, wenn bei derartigen Versuchen zu kleine Zahlen für prozentuale Berechnungen und Vergleiche benutzt werden. Wenn Paula Freund z. B. für 4 Versuche in 75 % ein positives Resultat berechnet (l. c. S. 500), so ist das natürlich durchaus unzulässig und gibt für die Häufigkeit der erfolgreichen Implantation gar keinen Anhaltspunkt. Dasselbe gilt für die Vergleichung derartiger Resultate, soweit wir es bei derselben Autorin z. B. auf S. 503 l. c. finden: „Unter 18 weiblichen Tieren waren also 7 trächtige, bei den 7 trächtigen Tieren 6 positive Ergebnisse = 85,7 %. Einen Vergleich mit der Prozentzahl der positiven Resultate bei weiblichen Tieren überhaupt = 83,3 % ergibt ein Ueberwiegen der positiven Resultate bei den trächtigen Tieren um 2 %; es scheint also der Status gravidus von günstigem Einfluss auf das Angehen der Tumoren zu sein.“ Es sei jedoch hervorgehoben, dass Freund an andrer Stelle (l. c. S. 499) für

eins ihrer Resultate hervorhebt, dass die Zahlen ihrer Versuche für sichere positive Angaben wohl zu klein sind.

Auch auf den Versuch, das Wachstum der Teratoide durch Aether, Indol etc. zu beeinflussen, wurde verzichtet. Es muss hier zu einer Verschleierung führen, wenn z. B. bei den weiblichen Tieren der Embryonalbrei in manchen Experimenten anders vorbehandelt ist als bei den männlichen, und dann die erhaltenen Resultate allgemein für Weibchen und Männchen verglichen werden.

Die wichtigste Frage bei der experimentellen Teratoidforschung ist wohl zunächst nicht die der Beeinflussung des Wachstums dieser Wucherungen, sondern die nach einem konstanten Ausgangsmaterial. Die weissen Ratten scheinen nur eine der Forderungen, die man hier stellen muss, mit einiger Sicherheit zu entsprechen, nämlich der, dass der überimpfte Brei wenigstens in der Mehrzahl der Fälle überhaupt angeht. Ebenso nötig es aber auch für die weitere Forschung, dass die Grösse der erhaltenen Tumoren in gewissen Grenzen wenigstens konstant bleibt.

Erst bei der Erfüllung dieser beiden Postulate wird man daran gehen können, das Wachstum dieser Teratoiden mit der Aussicht zu studieren, genaue und einwandsfreie Resultate über seine Beeinflussung, sei es im Sinne einer Förderung, sei es im Sinne einer Hemmung, durch bestimmte Agentien, zu erhalten.

Der Wunsch, durch Verimpfung embryonalen Materials echte Geschwülste zu erhalten, scheint sich einstweilen wenigstens ja nicht zu erfüllen.

Ueber die Resultate der Versuche ist allgemein zu bemerken, dass die erzeugten Knötchen meist sehr klein bleiben, sehr viel kleiner als die Teratoide, die man bei Ratten durch intraperitoneale Impfung erhält. Dies liegt wohl sicher daran, dass das Peritoneum einen wesentlich besseren Boden für das Angeben des Embryonalbreis bietet als die Subcutis.

Der mikroskopischen Untersuchung wurden von jedem Knötchen zahlreiche Schnitte angefertigt.

Einzelne Knötchen wurden nicht untersucht, teils wegen der geringen Grösse, teils liessen sich (infolge des Kalkgehaltes) keine brauchbaren Schnitte gewinnen. In allen Knötchen ist der mikroskopische Befund mehr oder weniger gleichartig. In einem bindegewebigen, meist stark entzündeten Stroma (Fremdkörper-Riesenzellen) liegen Knochen, Knorpel, Hornmassen zum Teil in

Plattenepithelcysten und ganz vereinzelt andere epitheliale Gebilde. Nur der Knorpel scheint eine stärkere Tendenz zum Wachstum zu zeigen. Er ist da, wo er gut erhalten ist, vielfach von Perichondrium umgeben und steht so im Konnex mit der Umgebung.

Als mikroskopisch positiv sind im folgenden nur die Fälle bezeichnet, bei denen mit Sicherheit lebensfähiges, aus dem eingebrachten Brei stammendes Gewebe, also insbesondere Knorpel, nachzuweisen war. Die Zahl der mikroskopisch positiven Befunde ist ziemlich erheblich geringer als die der makroskopisch positiven.

---

1. Männliche Mäuse mit Embryonen geimpft.

Zu dieser Versuchsreihe wurden 20 männliche Mäuse subkutan im Rücken geimpft. Nach ungefähr 3 bis 4 Wochen wurden diese Tiere untersucht, und es wurde bei allen, mit Ausnahme von Nr. 1 und 6, ein Tumor von Linsen- bis Kirschkerngrösse palpiert. Bei der Tötung der Tiere, welche bei Maus Nr. 1 bis 5 nach 2 Monaten geschah, wurden bei zweien kleine höckerige Geschwülste im Rücken, im Subkutangewebe, gefunden.

Von den Mäusen Nr. 6 bis 10, die nach $2^1/_2$ Monaten getötet wurden, zeigten sich bei Nr. 7, 8, 9 u. 10 an der Injektionsstelle kleine hanfkorn- bis erbsengrosse Knötchen.

Die Mäuse Nr. 11 bis 20, welche nach 3 Monaten getötet und seziert wurden, wiesen 6 positive Resultate auf. Auch bei diesen 6 Versuchstieren (Maus-Nr. 11, 13, 15, 16, 19, 20) konnte man an der Injektionsstelle kleine stecknadelknopf- bis erbsengrosse Knötchen feststellen, die von teils weicher, teils derber Konsistenz waren. Mikroskopisch erwiesen sich 10 Fälle als positiv.

2. Weibliche gravide Mäuse mit eigenen Embryonen.

20 schwangere Mäuse wurden laparotomiert und jede mit ihrem eigenen Embryonalbrei subkutan am Rücken geimpft. Nach Tötung der Tiere fanden wir bei 17 Mäusen an der Injektionsstelle am Rücken stecknadelknopf- bis erbsengrosse Tumoren, die makroskopisch als kleine, teils harte, teils weiche Knötchen erschienen.

Die mikroskopische Untersuchung ergab, dass 5 von den 16 Fällen ausgeschieden werden mussten. Bei den übrigen 11 fand

sich Knorpel und Knochengewebe, abgekapselte Hornmassen, Cysten, die mit Platten- und z. T. auch mit Zylinderepithel ausgekleidet waren.

Die Sektion der Tiere geschah bei Nr. 1 nach 10 Wochen, bei Nr. 2 nach 2 Tagen (starb an Peritonitis diff.), bei Nr. 3 nach 16 Wochen, bei Nr. 4 bis 8 nach 19½ Wochen, bei Nr. 9, 10, 11, 14, 15 nach 9 Wochen, bei Nr. 12 und 13 nach 11 Wochen. Nr. 6 und 17 sind nach kaum 5 Wochen erfroren und mussten deshalb nachgesehen werden. Nr. 18 und 19 wurden nach 8, Nr. 20 nach 7 Wochen seziert.

3. Weibliche, nicht gravide Mäuse mit fremden Embryonalbrei.

In dieser Versuchsreihe wurden 20 weibliche, nicht schwangere Mäuse mit dem Embryonalbrei einer trächtigen Maus subkutan am Rücken geimpft. Die Ueberimpfung geschah sofort, nachdem einer trächtigen Maus der Uterus extirpiert und die Embryonen zerkleinert waren. Bei 8 von den 20 Versuchstieren konnte man makroskopisch kleine, höckerige, stecknadelkopf- bis linsengrosse Knötchen erkennen, die von derber Konsistenz waren.

Mikroskopisch wurden bei vier positiven Fällen hier dieselben Befunde wie bei den unter 1 und 2 aufgeführten Mäusen erhoben.

Die Tötung der Tiere geschah bei Nr. 1 bis 10 nach 16, bei Nr. 11 bis 20 nach 20 Wochen (cf. Protokoll).

4. Weibliche gravide Mäuse mit fremden Embryonen.

In der letzten Versuchsreihe wurden trächtige Mäuse genommen und mit dem Embryonalbrei anderer Mäuse subkutan am Rücken geimpft. Von den 20 auf diese Weise behandelten Tieren hatten sich bei der Tötung bei 8 von ihnen kleinere Tumoren an der Injektionsstelle angesetzt, die makroskopisch aus derben, stecknadelkopf-, hanfkorn- bis linsengrossen Knötchen bestanden. Mikroskopisch waren 6 Fälle positiv.

Die Untersuchung der Tiere geschah bei Nr. 1 bis 3 nach 9½, bei Nr. 4 bis 11 nach 10, bei Nr. 13 nach 9, bei Nr. 14 bis 19 nach 7, bei Nr. 20, weil sie erfroren war, schon nach 5 Wochen.

Wenn man nun die Resultate der einzelnen Versuchsreihen zusammenfasst, so ergeben sich aus der ersten Versuchsreihe bei 20 männlichen Mäusen mikroskopisch 10 positive Resultate.

Bei der zweiten Versuchsreihe, bei der es sich um gravide Mäuse handelte, deren status gravitus unterbrochen wurde und

die mit ihren eigenen Embryonen subkutan geimpft wurden, ergaben von 19 Mäusen 11 bei mikroskopischer Untersuchung ein positives Resultat. Auch hier wurden bei der mikroskopischen Untersuchung ausser einigen Cysten und Abcessen nur Knochen- und Knorpelreste nachgewiesen.

Bei den 20 Versuchstieren der dritten Reihe (weibliche nicht gravide Mäuse mit fremden Embryonen) liessen sich mikroskopisch bei 6 Tieren Gewebswucherungen an der Injektionsstelle nachweisen. Das mikroskopische Untersuchungsergebnis war dasselbe wie bei den vorhergehenden Versuchsreihen.

In der letzten, vierten Reihe wurden 20 gravide Mäuse mit fremden Embryonen geimpft, um den Einfluss der Gravidität- und Laktationsperiode zu konstatieren. Von 20 Tieren konnte man bei 6 an der Injektionsstelle mikroskopisch Gewebswucherungen nachweisen.

Es sind also von 20 männlichen Tieren 10 positiv, von 59 weiblichen 23. Es könnte demnach fast scheinen, dass die Männchen eine grössere Disposition für die Erzeugung der Teratoide zeigen als die Weibchen (50 % gegen ca. 40 %). Doch wollen wir aus den oben angeführten Gründen dieser Differenz kein Gewicht beilegen. Die Zahl von 20 Versuchen ist viel zu klein für eine derartige Berechnung, was besonders hier hervorzuheben ist, wo das Resultat in Gegensatz steht zu den Ergebnissen der übrigen referierten Versuchen, bei denen meist eine Praedisposition der Weibchen sich ergab.

Die grösste Zahl positiver Versuche ergab die Reihe zwei mit autoplastischer Transplantation, es liessen sich hier fast ebenso viel Teratoide nachweisen als in Reihe 3 und 4 zusammen.

Uebersichtlich werden obige Resultate durch die nachfolgenden Tabellen wiedergegeben.

Zusammenstellung nach Geschlecht der operierten Tiere.

Mikroskopisches und makroskopisches Ergebnis.

I. Männliche Mäuse, geimpft mit fremden Embryonalbrei.

Nr. u. Zeichen d. Maus	Tag d. Impfung	Tag d. Todes	Resultat: makroskop.	Resultat: mikroskop.	Bemerkungen:	Tötung nach Wochen
1	16. 8. 12	17. 10. 12	—			9
2	16. 8. 12	17. 10. 12	+		Von 20, mit Embryonen geimpften männlich. Mäusen ergaben makroskopisch 13 Mäuse ein positiv. Resultat = 65 %.	9
3	16. 8. 12	17. 10. 12	+	1		9
4	16. 8. 12	17. 10. 12	+	1		9
5	16. 8. 12	17. 10. 12	—			9
6	17. 8. 12	29. 10. 12	—		Mikroskopisch:	10
7	17. 8. 12	29. 10. 12	+	1	10 positive Resultate.	10
8	17. 8. 12	29. 10. 12	+	1		10
9	17. 8. 12	29. 10. 12	+	1		10
10	17. 8. 12	29. 10. 12	+	1		10
11	21. 8. 12	26. 11. 12	+	1		14
12	21. 8. 12	26. 11. 12	—			14
13	21. 8. 12	26. 11. 12	+	1		14
14	21. 8. 12	26. 11. 12	—			14
15	21. 8. 12	26. 11. 12	+	1		14
16	21. 8. 12	26. 11. 12	+			14
17	21. 8. 12	26. 11. 12	—			14
18	21. 8. 12	26. 11. 12	—			14
19	21. 8. 12	26. 11. 12	+	1		14
20	21. 8. 12	26. 11. 12	+			14
			13+;7—	10 +		

II. Weibliche gravide Mäuse, geimpft mit eigenem Embryonalbrei.

Nr.	Tag d. Impfung	Tag d. Todes	Resultat: makroskop.	Resultat: mikroskop.	Bemerkungen:	Tötung nach Wochen
1	17. 8. 12	24. 10. 12	+	1		10
2	21. 8. 12	30. 8. 12	⊞ —		⊞ an Periton. diff. Von 19 mit Embryonen geimpften weiblich. Mäusen ergaben makroskopisch 16 ein positives Resultat. Mikroskopisch: 11 positive Resultate.	1
3	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
4	3. 9. 12	18. 1. 13	+	1		$19^1/_2$
5	3. 9. 12	18. 1. 13	+			$19^1/_2$
6	5. 9. 12	20. 1. 13	+			$19^1/_2$
7	5. 9. 12	20. 1. 13	+			$19^1/_2$
8	5. 9. 12	20. 1. 13	+			$19^1/_2$
9	15. 11. 12	18. 1. 13	+	1		9
10	15. 11. 12	18. 1. 13	+	1		9
11	15. 11. 12	18. 1. 13	+	1		9
12	1. 12. 12	16. 2. 13	+	1		11
13	1. 12. 12	16. 2. 13	—			11
14	12. 12. 12	16. 2. 13	—			9
15	12. 12. 12	16. 2. 13	+	1		9
16	14. 12. 12	20. 1. 13	+	1	⊞ erfroren.	5
17	14. 12. 12	20. 1. 13	+	1		5
18	20. 12. 12	16. 2. 13	+	1		8
19	20. 12. 12	16. 2. 13	+			8
20	28. 12. 12	16. 2. 13	+	1		7
			16+,3—	11+8—		

III. Weibliche, nicht gravide Mäuse mit fremdem Embryonalbrei.

Nr.	Tag d. Impfung	Tag d. Todes	Resultat: makroskop.	Resultat: mikroskop.	Bemerkungen:	Tötung nach Wochen
1	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
2	28. 8. 12	20. 12. 12	—		Von 20 weiblichen, nicht graviden Mäusen m. fremd. Embryonen ergaben 8 ein positives Resultat (makroskopisch).	16
3	28. 8. 12	20. 12. 12	+	1		16
4	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
5	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
6	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
7	28. 8. 12	20. 12. 12	—		Mikroskopisch:	16
8	28. 8. 12	20. 12. 12	—		4 positive Resultate.	16
9	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
10	28. 8. 12	20. 12. 12	—			16
11	3. 9. 12	18. 1. 13	—			20
12	3. 9. 22	18. 1. 13	+			20
13	3. 9. 12	18. 1. 13	+	1		20
14	3. 9. 12	18. 1. 13	+			20
15	3. 9. 12	18. 1. 13	+			20
16	3. 9. 12	18. 1. 13	+	1		20
17	3. 9. 12	18. 1. 13	+	1		20
18	3. 9. 12	18. 1. 13	+			20
19	3. 9. 12	18. 1. 13	—			20
20	3. 9. 12	18. 1. 13	—			20
			8+,12—	4+,16—		

IV. Weibliche gravide Mäuse mit fremdem Embryonalbrei.

Nr.	Tag d. Impfung	Tag d. Todes	Resultat: makroskop.	Resultat: mikroskop.	Bemerkungen:	Tötung nach Wochen
1	28. 8. 12	3. 11. 12	—			$9^1/_2$
2	28. 8. 12	3. 11. 12	—		Von 20 graviden, mit fremd. Embryonen geimpften Mäusen ergaben makroskopisch 8 ein positives Resultat.	$9^1/_2$
3	28. 8. 12	3. 11. 12	—			$9^1/_2$
4	9. 11. 12	20. 1. 13	+			10
5	9. 11. 12	20. 1. 13	—			10
6	9. 11. 12	20. 1. 13	—			10
7	9. 11. 12	20. 1. 13	+	1	Mikroskopisch:	10
8	9. 11. 12	20. 1. 13	—		6 positive Resultate.	10
9	9. 11. 12	20. 1. 13	+	1		10
10	9. 11. 12	20. 1. 13	+	1		10
11	9. 11. 12	20. 1. 13	+	1		10
12	9. 11. 12	20. 1. 13	+			10
13	9. 11. 12	20. 1. 13	—			10
14	15. 11. 12	20. 1. 13	—			9
15	1. 12. 12	16. 2. 13	—			7
16	1. 12. 12	16. 2. 13	+	1		7
17	1. 12. 12	16. 2. 13	—			7
18	1. 12. 12	16. 2. 13	—			7
19	1. 12. 12	16. 2. 13	—			7
20	14. 12. 12	20. 1. 13	+	1	⊞ erfroren.	5
			8+,12—	6+,14—		

Bei der ungefähr 3 bis 4 Wochen nach der Impfung vorgenommenen Untersuchung der unter Tabelle I aufgeführten Mäuse ergab sich bei allen Tieren, mit Ausnahme von Nr. 1 und 6, dass am Rücken unter der Haut ein Tumor zu palpieren war. Bei der Sektion zeigte sich dann, dass die Tumoren teils verschwunden waren, alle aber an Grösse abgenommen hatten. Ein merkliches Wachstum der unter Tabelle II, III und IV aufgeführten Mäuse in der 4. Woche nach der Impfung konnte nur bei der in Tabelle II aufgeführten Maus Nr. 5, 9 und 12 nachgewiesen werden.

Als Resultate unserer Untersuchungen ergibt sich:

1. Es ist möglich, bei der weissen Maus bei subkutaner Einimpfung von Embryonalbrei teratoide Gewebswucherungen zu erzeugen. Die Wucherungen bleiben meist sehr klein; sie enthalten nur wenige Gewebsarten, unter denen besonders der Knorpel wegen der Häufigkeit seines Auftretens und wegen seiner Wachstumstendenz hervorzuheben ist.
2. Hinsichtlich des Geschlechts scheint kein wesentlicher Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Tieren in Bezug auf das Wachstum der Tumoren zu bestehen.
3. Gravidität und Laktation scheint bei homoioplastischer Transplantation nicht von wachstumförderndem Einfluss zu sein, dagegen besteht vielleicht bei autoplastischer Transplantation ein gewisser Einfluss auf das „Angehen“ des eingebrachten Materials.

Sektionsprotokolle.

Am 16. 8. 12 wurde eine männliche weisse Maus (Nr. 3, Tab. I) mit Embryonalbrei subkutan am Rücken geimpft. Am 17. 10. 12 wurde das Tier getötet. Nach Abpräparieren der Haut fand sich auf dem Rücken, links von der Mittellinie am Ansatz der letzten Rippe im Subkutangewebe eine flache, höckerige Geschwulst von Linsengrösse, die sich derb anfühlte und gegen die Unterlage wenig verschieblich war.

Mikroskopischer Befund:

Kleines, gut erhaltenes Knochenstückchen.

Am 16. 8. 12 wurde eine zweite männliche Maus (Nr. 4, Tab. I) am Rücken subkutan geimpft. Am 17. 10. 12 wurde das Tier getötet. Es zeigte sich in der linken Lendengegend eine hanfkorngrosse, höckerige Geschwulst von weissgrauer Farbe derber Konsistenz, die mit der Unterlage fest verwachsen war. (Knochenreste.)

Mikroskopischer Befund:

Knochen in Nekrose, kleine Epithelcysten.

Nr. 7, Tab. I, männliche Maus mit Embryonen am 17. 8. 12 geimpft, [+] am 29. 10. 12. An der linken Seite nahe dem Ansatz der letzten Rippe war ein stecknadelkopfgrosser Tumor von derber Konsistenz, der gegen die Unterlage etwas verschieblich war.

Mikroskopischer Befund:

Nekrotischer Knochen. Hornmassen.

Nr. 8, Tab. I, männliche Maus mit Embryonen am 17. 8. 12 geimpft; [+] am 29. 10. 12. Man fand auf dem Rücken etwas links der Wirbelsäule einen erbsengrossen höckerigen Tumor von weicher Konsistenz, welcher mit der Unterlage verwachsen war.

Mikroskopischer Befund:

Knochen und Knorpel, nur zum kleinen Teil gut erhalten, Hornmassen, einige Hohlräume, die mit einem meist sehr schlecht erhaltenen Zylinderepithel ausgekleidet sind.

Nr. 9, Tab. I, männliche Maus, geimpft am 17. 8. 12; [+] am 29. 10. 12. Am Ansatz der letzten Rippe der linken Seite ein gut erbsengrosser, sich derb anfühlender Tumor von unregelmässiger Oberfläche. Gegen die Unterlage lässt sich der Tumor nur wenig verschieben.

Mikroskopischer Befund:

Knochen und Knorpel, an einer Stelle Epithelcyste mit Haarbildung.

Nr. 10, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 17. 8. 12; [+] am 17. 10. 12. Auf dem Rücken fand sich im Subkutangewebe ein hanfkorngrosser Tumor von mittlerer Konsistenz, der gegen die Unterlage sich wenig verschieben lässt.

Mikroskopischer Befund:

Zum Teil gut erhaltener Knorpel, nekrotischer Knochen.

Nr. 11, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. Links der Wirbelsäule war ungefähr im Ansatz der letzten Rippe ein erbsengrosser, höckeriger Tumor. Die Konsistenz des Tumors ist weich und der Tumor selbst gegen die Unterlage verschieblich.

Mikroskopischer Befund:

Zwei Plattenepithelcysten, einige Knorpelstückchen. An einer Stelle finden sich Schweissdrüsen, die wohl nicht vom implantierten Material stammen.

Nr. 13, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. In der linken Lendengegend ist ein kaffeebohnengrosser Tumor von unregelmässiger Oberfläche, mittelweicher Konsistenz, weissgrauer Farbe, der gegen die Unterlage nicht zu verschieben ist.

Mikroskopischer Befund:

Ziemlich reichlich Knochen und Knorpel, beides zum Teil leidlich erhalten. Einige Drüsenzellgänge, die sehr wahrscheinlich als Hoden anzusprechen sind.

Nr. 15, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. Es fand sich ungefähr in der Mitte zwischen letzter Rippe und Oberschenkel ein hanfkorngrosser, höckeriger Tumor von sehr harter Konsistenz, der makroskopisch als Knochenrest zu erkennen war.

Mikroskopischer Befund:

Knochen- und Knorpelteilchen.

Nr. 16, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. Auf dem Rücken war auf der Lendenwirbelsäule eine längliche, hanfkorngrosse und vorgelagert eine stecknadelkopfgrosse Geschwulst von sehr weicher Konsistenz, rötlicher Farbe, verschieblich gegen die Unterlage.

Mikroskopischer Befund:

Entzündliches Gewebe.

Nr. 19, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. Rechts von der Wirbelsäule war in der rechten Lendengegend ein kaffeebohnengrosser, sich derb anfühlender Tumor von glatter Oberfläche, der gegen die Unterlage sich verschieben liess.

Mikroskopischer Befund:

Viel Horn, einzelne Plattenepithelcysten. Eine mit sehr schlecht erhaltenen Zylinderzellen ausgekleidete Cyste, einzelne zum Teil gut erhaltene Knochen- und Knorpelstückchen.

Nr. 20, Tab. I, männliche Maus, geimpft mit Embryonen am 21. 8. 12; [+] am 26. 11. 12. In der linken Lendengegend fand sich ein stecknadelkopfgrosser Tumor von weisser Farbe, derber Konsistenz, leicht verschieblich gegen die Unterlage.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 1, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 17. 8. 12; [+] am 24. 10. 12. Links von der Wirbelsäule fand sich am Ansatz der letzten Rippe ein fast erbsengrosser, derber Tumor.

Mikroskopischer Befund:

Neben einigen gut erhaltenen Knochenteilchen viel nekrotisches Knochen- und Knorpelgewebe.

Nr. 4, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. In der linken Seite, am Ansatz der letzten Rippe war ein linsengrosser, flacher Tumor, welcher mittelharte Konsistenz zeigte, weisslich gefärbt und gegen die Unterlage verschieblich war.

Mikroskopischer Befund:

Abgekapselte Hornmassen, kleine Stückchen schlecht erhaltenen Knorpels und Knochens.

Nr. 5, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 13. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. In der linken Lendengegend war ein fast haselnussgrosser Tumor, prall elastisch, gegen die Unterlage nicht verschieblich.

Mikroskopischer Befund:

Abszess.

Nr. 6, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 5. 9. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Links der Wirbelsäule sieht man am Ansatz der letzten Rippe einen stecknadelkopfgrossen Tumor von weisser Farbe, derber Konsistenz, der sich gegen die Unterlage verschieben lässt.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 7, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 5. 9. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Nahe der Wirbelsäule ist in der linken Lendengegend ein hanfkorngrosser, sich derb anfühlender Tumor von weisslicher Farbe, gegen die Unterlage verschieblich.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 8, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 5. 9. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Man findet im Subkutangewebe links auf dem Rücken, am Ansatz der letzten Rippe eine stecknadelkopfgrosse Geschwulst von derber Konsistenz, nicht verschieblich gegen die Unterlage. Die Umgebung der Geschwulst weist Granulationsgewebe auf.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 9, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 15. 11. 12; ⊞ 18. 1. 13. In der linken Lendengegend ist ein kaffeebohnengrosser Tumor von mittlerer Konsistenz, gegen die Unterlage nicht verschieblich.

Mikroskopischer Befund:

Knochenbälkchen, zwischen denen zellreiches Gewebe (Mark?) liegt Knorpel und Knochen, zum Teil nekrotisch.

Nr. 10, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 5. 11. 12; ⊞ am 18. 1. 13. Links der Wirbelsäule, etwas unterhalb des Ansatzes der letzten Rippe ist ein gut linsengrosser, glatter, flacher Tumor von weissgrauer Farbe, mittelweicher Konsistenz, gegen die Unterlage verschieblich.

Mikroskopischer Befund:

Knochen und Knorpel wie Nr. 9. Ausserdem Hornmassen in einer unvollständig mit Plattenepithel ausgekleideten Cyste.

Nr. 11, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 15. 11. 12; ⊞ am 18. 1. 13. In der linken Lendengegend nahe der Wirbelsäule befindet sich im Subkutangewebe ein linsengrosser Tumor von derber Konsistenz, weissgrauer Farbe, der sich gegen die Unterlage verschieben lässt.

Mikroskopisch derselbe Befund wie bei Nr. 10.

Nr. 12, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 1. 12. 12; ⊞ am 16. 2. 13. An der linken Seite, nahe der Wirbelsäule ist etwas unterhalb des Ansatzes der letzten Rippe ein glatter, bohnengrosser Tumor von mittelharter Konsistenz, grauweisslicher Farbe. Der Tumor lässt sich nicht gegen seine Unterlage verschieben. Dicht daneben befindet sich ein zweiter flacher, linsengrosser runder Tumor von gleicher Beschaffenheit wie der eben beschriebene.

Mikroskopischer Befund:

Eine Plattenepithelcyste von Hornhautmassen ausgefüllt, nekrotischer Knorpel und Knochen.

Nr. 15, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 12. 12. 12; [+] am 16. 2. 13. Im Subkutangewebe, in der linken Lendengegend nahe der Wirbelsäule ist ein stecknadelkopfgrosser, sich derb anfühlender Tumor. Die Oberfläche erscheint etwas rauh.

Mikroskopischer Befund:

Kleines, gut erhaltenes Knorpelstückchen.

Nr. 16, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 14. 12. 12; [+] am 20. 1. 13 (erfroren). Unterhalb des Ansatzes der letzten Rippe findet man links der Wirbelsäule einen erbsengrossen, sich derb anfühlenden, gegen die Unterlage wenig verschieblichen Tumor.

Mikroskopischer Befund:

Kleines, gut erhaltenes Knorpelstückchen, sowie nekrotischer Knochen.

Nr. 17, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 14. 12. 12; [+] am 20. 1. 13 (erfroren). Links der Wirbelsäule, etwas unterhalb der letzten Rippe ist ein gut linsengrosser Tumor von weicher Konsistenz.

Mikroskopischer Befund:

Hornmassen und ein kleines, gut erhaltenes Knorpelstückchen.

Nr. 18, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 20. 12. 12; [+] am 16. 2. 13. In der linken Lendengegend ist im Subkutangewebe ein stecknadelkopfgrosser Tumor von weicher Konsistenz und weissgrauer Farbe.

Mikroskopischer Befund:

Nekrotischer Knorpel mit einigen besser erhaltenen Randpartien.

Nr. 19, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 20. 12. 12; [+] am 16. 2. 13. Am Ansatz der letzten Rippe ist links der Wirbelsäule eine hanfkorngrosse Geschwulst von derber Konsistenz, die sich gegen die Unterlage wenig verschieben lässt.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 20, Tab. II, weibliche Gravide mit eigenen Embryonen geimpft am 28. 12. 12; [+] am 16. 2. 13. In der linken Seite ist neben der Lendenwirbelsäule ein erbsengrosser Tumor von blassroter Farbe, gegen die Unterlage nur wenig verschieblich, von mittelharter Konsistenz.

Mikroskopischer Befund:

Nekrotische Knorpel- und Knochenteile, abgekapselte Hornmassen.

Nr. 3, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 28. 8. 12; [+] am 20. 12. 12. In der linken Lendengegend befindet sich etwas unterhalb der letzten Rippe eine kaffeebohnengrosse, längsovale Geschwulst von weissgrauer Farbe und mittelharter Konsistenz, die gegen die Unterlage wenig verschieblich ist.

Mikroskopischer Befund:

Knorpel und Knochen, die teilweise nekrotisch sind.

Nr. 12, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. Links der Lendenwirbelsäule befindet sich ein hanfkorngrosser, sich derb anfühlender Tumor. Die Oberfläche desselben ist rauh, die Farbe weissgrau, gegen die Unterlage ist er nicht verschieblich.

Mikroskopisch nicht untersucht.

Nr. 13, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. Etwas unterhalb der letzten Rippe ist an der linken Seite ein fast linsengrosser flacher Tumor von derber Konsistenz, der sich gegen die Unterlage nicht verschieben lässt.

Mikroskopischer Befund:

Neben nekrotischem Gewebe gut erhaltene Knorpelteilchen.

Nr. 14, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. In der linken Lendengegend ist ein hanfkorngrosser Tumor von mittlerer Konsistenz, der von narbigen Gewebssträngen umgeben ist und sich gegen die Unterlage nicht verschieben lässt.

Mikroskopisch ist nur nekrotisches Gewebe nachzuweisen.

Nr. 15, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. Am Ansatz der letzten Rippe links ist ein stecknadelkopfgrosser Tumor von harter Konsistenz, weisslicher Farbe, der makroskopisch als Knochenrest angesehen werden kann.

Nr. 16, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. Etwas unterhalb der letzten Rippe ist links der Wirbelsäule ein linsengrosser, sich derb anfühlender Tumor, der nur wenig gegen die Unterlage sich verschieben lässt. Die Farbe des Tumors ist weissgrau.

Mikroskopisch. Knochen von meist guter Erhaltung.

Nr. 17, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. Links der Lendenwirbelsäule findet sich auf dem Rücken im Subkutangewebe ein linsengrosser gelappter Tumor von derber Konsistenz, der gegen die Unterlage verschieblich ist.

Mikroskopisch. Knorpel und Knochen.

Nr. 18, Tab. III, nicht gravide weibliche Maus mit fremden Embryonen geimpft am 3. 9. 12; [+] am 18. 1. 13. In der linken Lendengegend, nahe der Wirbelsäule ist subkutan ein erbsengrosser Tumor. Seine Konsistenz ist mittelweich. Die Oberfläche ist glatt und von rötlichgrauer Farbe.

Mikroskopisch. In Granulationsgewebe nekrotische Massen.

Nr. 4, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; [+] am 20. 1. 13. Links der Lendenwirbelsäule findet sich ein linsengrosser Tumor mittelgrosser Konsistenz, der sich gegen die Unterlage nur wenig verschieben lässt.

Mikroskopisch. Nur entzündliches Gewebe.

Nr. 7, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; [+] am 20. 1. 13. Links unterhalb des Ansatzes der letzten Rippe ist ein harter, fast linsengrosser Tumor von weissgrauer Farbe, der mit der Unterlage verwachsen ist; schon makroskopisch als Knochenrest erkennbar.

Mikroskopisch. Neben gut erhaltenen Knorpel nekrotisiertes Knorpel- und Knochengewebe.

Nr. 9, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Links der Lendenwirbelsäule, etwas unterhalb der letzte Rippe ist ein gut stecknadelkopfgrosser, lappiger Tumor von mittelharter Konsistenz, mit der Unterlage ziemlich verwachsen. Narbige Bindegewebestränge ziehen vom Tumor aus nach der Umgebung hin.

Mikroskopisch. Knorpelspangen von meist guter Erhaltung, ferner zwischen Fettgewebe zahlreiche Häufchen kleiner Drüsen (Speicheldrüse?).

Nr. 10, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Links der Lendenwirbelsäule, etwas unterhalb der letzten Rippe ist ein fast linsengrosser gelappter Tumor von rötlicher Farbe, der sich gegen die Unterlage wenig verschieben lässt.

Mikroskopisch. Neben nekrotischen Knorpel einige Stückchen gut erhaltenen Knorpelgewebes.

Nr. 11, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; ⊞ am 20. 1. 13. In der linken Lendengegend ist im Subkutangewebe ein fast linsengrosser Tumor, der von rötlicher Schleimhaut überzogen ist und sich gegen die Unterlage ein wenig verschieben lässt.

Mikroskopisch. Knorpel- und Knochengewebe; Reste eines drüsigen Organs in ziemlich schlechter Erhaltung (vielleicht Hoden).

Nr. 12, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 9. 11. 12; ⊞ am 20. 1. 13. Links von der Lendenwirbelsäule ist ein stecknadelkopfgrosser, sich hart anfühlender Tumor von weisslicher Farbe, der sich gegen die Umgebung scharf abgrenzen lässt.

Nr. 16, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 1. 12. 12; ⊞ am 16. 2. 13. Etwas unterhalb des Ansatzes der letzten Rippe links ist nahe der Lendenwirbelsäule ein fast erbsengrosser Tumor von weicher Konsistenz, nur wenig verschieblich gegen die Unterlage. Ihm vorgelagert und mit ihm durch narbige Stränge verbunden sind zwei Tumoren von gleicher Beschaffenheit, wie der eben erwähnte. Der eine ist stecknadelkopfgross und der andere kleiner.

Mikroskopischer Befund:

Nekrotische Knochen- und Knorpelteile und ein gut erhaltenes Knorpelstückchen. Hornmassen. Eine (mehrkammerige?) Cyste mit einschichtigem kubischen Epithel.

Nr. 20, Tab. IV, weibliche gravide Maus mit fremden Embryonen geimpft am 14. 12. 12; ⊞ am 20. 1. 13 (erfroren). Etwas unterhalb des linken Rippenbogens ist nahe der Wirbelsäule ein erbsengrosser Tumor, der gegen die Unterlage nur wenig verschieblich ist, von blassroter Schleimhaut überzogen.

Mikroskopischer Befund:

Einige gut erhaltene Knorpelteilchen, Hornmassen.

Es sei mir erlaubt an dieser Stelle meinem verehrten Chef, Herrn Dr. Friedemann für die Anregung zu dieser Arbeit und das ihr entgegengebrachte Interesse, sowie Herrn Professor Dr. Schwalbe für sein liebenswürdiges Entgegenkommen bei Anfertigung der Arbeit und Uebernahme des Referats, sowie Herrn Dr. Josephy für die gütige Ausführung der mikroskopischen Untersuchungen und der dadurch entstandenen Mühe meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Literaturverzeichnis.

1. Askanazy: Die Teratome nach ihrem Bau, Verlauf, ihrer Genese und im Vergleich zum experimentellen Teratoid. Verhandlungen der Deutsch. Pathol. Ges. 1907. 2. Sitzung p. 79.
2. Askanazy: Die Resultate der experimentellen Forschung über teratoide Geschwulste. Wien, Mediz. Wochenschrift Nr. 43 und 44, 1909.
3. Birch-Hirschfeld und Garten: Ueber das Verhalten implant, embryonaler Zellen im erwachsenen Tierkörper. Zieglers Beiträge. Bd. 26, 1899.
4. Freund: Ueber experimentelle Erzeugung teratoider Tumoren bei der weissen Ratte. Zieglers Beiträge. Bd. 51, 1911.
5. Friedemann, Zimmermann, Schwalbe: Neue Teratoidversuche. Rostock 1910 bei H. Warkentin.
6. Leopold: Experimentelle Untersuchungen über die Aetiologie der Geschwulste. Virchows Archiv. Bd. 85, p. 83, Jahrgang 1881.
7. Petrow: Experimentelle Embryonalimpfungen. Zieglers Beiträge. Bd. 43, 1908.
8. Rössle: Ueber Einverleibung von Embryonalzellen. Münchener med. Nr. 3, Jahrgang 1906.
9. Schöne: In der Diskussion zum Referat des Herrn Borst. Verhandlungen der Deutsch. Pathol. Ges. 1907. 2. Sitzung p. 105.
10. Tiesenhausen: Zur Frage über die Transplantation von Embryonalgewebe. Virchows Archiv. Bd. 195, Heft 3, p. 154, 157, 167 und 168.
11. Wilms: Wachstum embryonaler Implantation und Geschwulstbildung. Verhandlungen d. Deutsch. Pathol. Ges. VIII 1909, p. 79.
12. Zahn: Ueber das Schicksal der in den Organismus implantierten Gewebe. Virchows Archiv. Bd. 95, 1884, p. 369.

Das Klima von Mecklenburg[1] auf Grund neuerer Untersuchungen.

Von
G. Schwalbe-Berlin.

Mit 6 Karten (Tafel 7—12).

Vorgetragen in der Sitzung am 24. Mai 1913.

Bekanntlich ist Europa in klimatischer Hinsicht dadurch bevorzugt, dass es in allen seinen Teilen eine weit höhere Wintertemperatur aufweist, als dem Breitengrade zukommt. Die von Dove, Spitaler u. a. für die Breitenkreise berechneten Temperaturen zeigen, dass dieser Ueberschuss ein beträchtlicher ist und dass erst jenseits des Ural, welcher in dieser Beziehung fast genau die Grenze bildet, die Anomalie, wie man sich ausdrückt, d. h. die Abweichung der wirklich an einem Orte herrschenden Temperatur von der Mitteltemperatur seines Breitenkreises, eine negative wird. Im Gegensatz zum Ural ist die Anomalie am meisten positiv in den höheren Breiten Westeuropas, im nördlichsten Schottland und an der Westküste Norwegens, woselbst trotz der hohen Breite noch die Mitteltemperatur des kältesten Monates über dem Gefrierpunkt liegt. Erklärt muss diese Eigentümlichkeit werden aus dem erwärmenden Einfluss des atlantischen Ozeans und des Golfstromes, sowie aus der mittleren Luftdruck- und Windverteilung, welche bedingt, dass die milde Luft der niedrigen Breiten des atlantischen Ozeans bis in die höchsten Breiten Europas vordringen kann. Wie stark diese Einflüsse noch in Mecklenburg sind, ist am besten ersichtlich, wenn man die nachstehende Tabelle 1 (siehe Tabelle 1), welche von 10 zu 10 Graden, sowie für den Breitengrad von Rostock (54° 5′) die normalen mittleren Temperaturen der Breiten-

[1]) Die Klimatologie von Mecklenburg ist bereits behandelt worden in dem Buche: Zur Klimatologie von Mecklenburg. I. Das Klima von Schwerin von Ludwig Matthiessen. II. Der Temperaturkalender von Wustrow von Adolf ter Cock-Amsterdam. Rostock 1904, 47 pp. 2 Taf. 4°. [Publ. Observ. Rostock II), sowie in dem Buche von Willi Ule: Geographie von Mecklenburg. Stuttgart 1909.

kreise wiedergibt, mit den tatsächlich in Rostock beobachteten Mitteln vergleicht (Jahr 7.98, Januar — 0.5°, Juli 17.20). Es geht aus den Zahlen hervor, dass Rostock im Jahre um 4.8°, im Januar um 10.0°, im Juli um 0.7° wärmer ist, als man es nach der geographischen Breite erwarten müsste.

Tabelle 1.

Mittlere Temperatur der Breitengrade der nördlichen Halbkugel nach Spitaler.

	Jahr	Januar	Juli
N. P.	— 20.0	— 38.0	0.0
80	— 16.5	— 33.5	1.8
70	— 9.9	— 26.0	7.0
60	— 0.8	— 15.8	14.0
54	3.2	— 10.5	16.5
50	5.8	— 7.0	18.1
40	14.0	4.9	24.0
30	20.3	14.6	27.3
20	25.6	21.9	28.3
10	26.4	25.8	26.9
Aequator	25.9	26.4	25.6

Immerhin kann man in Osteuropa bereits von frostreichen, mehr kontinentalen Wintern sprechen und das Klima von Deutschland als ein Uebergangsklima zwischen dem milden Klima Westeuropas und dem frostreichen Osteuropas betrachten, wobei wiederum innerhalb Deutschlands man eine ziemlich regelmässige Zunahme der Winterkälte in der Richtung von Westen nach Osten antrifft. Im folgenden soll der Versuch gemacht werden, auf Grund von Isothermenkarten Mecklenburg mit anderen Gegenden Deutschlands zu vergleichen. Mecklenburg ist auf diesen Karten durch Schraffieren des Gebietes gekennzeichnet worden. Diese Methode ist der Uebersichtlichkeit wegen gewählt worden, obwohl hervorgehoben werden muss, dass die Linienführung nicht als eine endgültige angesehen werden kann. Denn obwohl für die Darstellung eine einheitliche Periode (1851—1900) zugrunde gelegt werden konnte, so konnten doch für den vorliegenden Zweck nur verhältnismässig wenige Stationen, für welche die Normalmittel berechnet vorlagen (etwa 45) zur Verwendung gelangen. Ausserdem mussten aber, um eine übersicht-

liche Darstellung zu ermöglichen, die Temperaturen auf den Meeresspiegel reduziert werden, wodurch einerseits verschiedene Eigentümlichkeiten der tatsächlichen Temperaturverteilung nicht zum Ausdrucke kommen; andererseits Ungenauigkeiten in die Darstellung gelangen, die darin begründet sind, dass die Temperaturabnahme mit der Höhe keinem strengen mathematischen Gesetze folgt, sondern erst durch zahlreiche Beobachtungen empirisch festgestellt werden muss. Mit der Höhe nimmt bekanntlich die Temperatur ab, in unseren Gebirgen etwa 0.6° C. auf 100 m Erhebung im Jahresmittel. Die strengen Winter auf den süddeutschen Hochebenen, besonders der oberbayerischen, welche den ostpreussischen Wintern nahezu gleich kommen, finden zum Teil in der grossen Seehöhe dieser Gegenden ihre Erklärung.

Aus der Darstellung der Januarisothermen (siehe Tafel 7) geht nun hervor, dass im Meeresspiegel innerhalb Deutschlands die Temperatur lediglich in der Richtung von Westen nach Osten abnimmt, die Isothermen verlaufen also von Norden nach Süden, so dass auf demselben Meridiane eine Wärmezunahme in dieser Richtung nicht stattfindet. Die Nullgradisotherme verläuft mitten durch Schleswig-Holstein und sodann über Hamburg in fast genau nordsüdlicher Richtung durch Deutschland hindurch. Westlich dieser Linie haben wir also milde, ozeanische Winter; die Mitteltemperatur auch des kältesten Monates liegt über 0°. Von dieser Linie ab ostwärts nimmt die Wärme dauernd ab, im ostpreussischen Binnenlande bis auf —4°. Mecklenburg kommt in seinen westlichen Teilen der 0°-Isotherme bereits recht nahe, doch bleiben die Januartemperaturen überall etwas unter 0°. Im östlichen, besonders im südöstlichen Mecklenburg trifft man bereits schon merklich kältere, kontinentalere Winter an, als im Westen und an der Küste.

Aus der Karte der Isothermen des meteorologischen Winters (Tafel 8), welcher die Zeit vom 1. Dezember bis 28. (29.) Februar umfasst, geht hervor, dass der Südosten Mecklenburgs auch während dieses Zeitraumes im Gegensatze zum Westen und Küstengebiete eine Mitteltemperatur von unter 0° besitzt, ähnlich den angrenzenden Teilen von Brandenburg und Pommern.

In der Isothermenkarte des Jahres (siehe Tafel 9) kommt der Einfluss der geographischen Breite deutlich zum Ausdruck.

Die Isothermen verlaufen von Nordwest nach Südost, entsprechend einer Temperaturabnahme in der Richtung Südwest—

Nordost. Im äussersten Nordosten unseres Vaterlandes beträgt das Jahresmittel unter 6°, im Südwesten annähernd 10°. Mecklenburg wird von der 8°-Isotherme durchschnitten, der Nordosten hat etwas weniger, der Süden (im Meeresniveau) etwas mehr. Noch stärker ist die Wärmeabnahme nach Norden im Frühjahre (im April) (siehe Tafel 10). Allerdings ist es auch in diesem Monate im Nordosten Deutschlands (unter 5°) am kältesten, im Südwesten (beinahe 10°) am wärmsten. Dazwischen aber finden sich weite Gebiete mit rein westöstlichem Verlaufe der Isothermen. In Mecklenburg beträgt die mittlere Apriltemperatur nur zwischen 6 und 7°, so dass in den Mitteltemperaturen dieser Jahreszeit die nördliche Lage des Landes deutlich zum Ausdruck kommt.

Im Sommer (Juli) (Tafel 11) liegt das kühlste Gebiet über der Nordsee; von hier aus wird es nach Südosten hin wärmer. Mecklenburg ist mit einer Mitteltemperatur von rund 17° C. wärmer als das Nordseegebiet, aber kühler nicht nur als der grössere Teil des Binnenlandes, sondern auch als die Küste von Ost- und Westpreussen. In dem kontinentaleren Südosten (Neustrelitz) herrschen bereits wärmere Sommer. Die Gegensätze zwischen den extremen Jahreszeiten sind also hier schon wesentlich grössere, als im übrigen Teile des Landes. Im Herbste (Oktober) (Tafel 12) haben die Isothermen bereits einen winterlichen (nordsüdlichen) Verlauf: am wärmsten (über 10°) ist es auf der Nordsee, am kältesten (unter 7°) im ostpreussischen Binnenlande. Die Temperatur in Mecklenburg entspricht mit rund $8^1/_2{}^0$ zu dieser Jahreszeit etwa mittleren Verhältnissen innerhalb Deutschlands.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass im grösseren Teile von Mecklenburg, besonders im Westen und im ganzen Küstengebiete, einem gemässigten Herbste und Winter ein kühler Frühling und Sommer gegenüberstehen, und dass nur der Südosten ein kontinentaleres Klima mit kälteren Wintern und wärmeren Sommern aufweist.

Die folgende Temperaturtabelle von Mecklenburg (siehe Tabelle 2) ist auf ein sehr sorgfältig bearbeitetes Zahlenmaterial gegründet, das Anspruch auf Vergleichbarkeit machen kann. Die Angaben stützen sich auf die Arbeit von Arthur Grünert: Die Temperaturverhältnisse der Grossherzogtümer Mecklenburg auf Grund 50jähriger Beobachtungen. Inaug.-Diss., Rostock. Schwerin 1905. Druck der Bärensprungschen Hofbuchdruckerei. Grünert

Tabelle 2.

Temperatur in Mecklenburg.

Stationen	Östliche Länge von Greenw. λ	Nördl. Breite φ	Seehöhe in Metern H	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Mittlere Jahresextreme 1891—1900 Max.	Min.
Wustrow	12° 25′	54° 21′	7	—0.6	—0.4	1.5	5.8	10.6	15.1	17.1	16.8	13.8	9.0	3.8	0.9	7.78	28.4	—15.4
Kirchdorf	11° 26′	54° 0′	6	—0.4	0.0	2.1	6.5	11.1	15.1	16.8	16.5	13.4	8.7	3.6	0.9	7.86	28.0	—16 5
Rostock	12° 7′	54° 5′	27	—0.5	0.2	2.3	6.7	11.3	15 6	17.2	16.7	13.5	8.6	3.5	0.7	7.98	31.1	—18 2
Schönberg	10° 58′	53° 50′	25	—0.2	0.4	2.6	6.8	11.3	15.4	16.9	16.4	13.2	8.5	3.5	0.9	7.98		
Schwerin	11° 25′	53° 38′	47	—0.5	0.1	2.3	6.9	11.6	15.8	17.4	16.7	13.5	8.6	3.4	0.6	8.03	31.6	—16.1
Hinrichshagen	13° 30′	53° 28′	103	—1.6	—0.9	1.3	5.9	10.7	14.8	16.5	15.7	12.4	7.8	2.5	—0.5	7.05		
Marnitz	11° 56′	53° 19′	93	—1.0	—0.4	1.9	6 8	11.4	15.6	17.2	16.4	13.1	8.2	3.0	0.0	7.68	31.0	—16.7
Waren	12° 41′	53° 21′	76	—1.2	—0.4	2.0	6.8	11.6	15.8	17.6	16.9	13.5	8.5	2.8	—0.2	7.81	31.7	—17.0
Neustrelitz	13° 3′	53° 21′	73	—1.3	—0.4	2.0	7.1	11.8	16.3	18.0	17.0	13.3	8.3	2.7	—0.1	7.89	30.5	—17.9
Angrenzendes Gebiet.																		
Hamburg	9° 58′	53° 33′	26	0.1	0.8	3.0	7.3	11.6	15.6	17.1	16.6	13.6	9.0	3.6	0.9	8.27	29.2	—12.8
Berlin [Blankenburg]	13° 27′	52° 36′	51	—1.1	—0.1	2.4	7.4	12.2	16.3	17.7	17.0	13.6	8.7	3.0	0.1	8.10	32.5	—18.8
Putbus	13° 28′	54° 21′	60	—0.9	—0.5	1.4	5.7	10.5	15.0	16.9	16.3	13.3	8.5	3.3	0.4	7.49	28.9	—12.5
Greifswald	13° 23′	54° 6′	5	—0.7	0.2	2.5	6.6	11.9	15.7	17.4	16.2	13.3	8.3	3.8	0.5	7.98	30.0	—14.6
				Frühling (1. März bis 31. Mai)				**Sommer** (1. Juni bis 31. Aug.)			**Herbst** (1. Sept. bis 30. Nov.)			**Winter** (1. Dez. bis 28./29. Febr.)				
Wustrow	12° 25′	54° 21′	7		6.0			16.3			8.8				0.0			
Kirchdorf	11° 26′	54° 0′	6		6.6			16.1			8.6				0.2			
Rostock	12° 7′	54° 5′	27		6.7			16.5			8.5				0.1			
Schönberg	10° 58′	53° 50′	25		6.9			16.2			8.4				0.4			
Schwerin	11° 25′	53° 38′	47		6.9			16.6			8.6				0.1			
Hinrichshagen	13° 30′	53° 28′	103		6.0			15.7			7.6				—1.0			
Marnitz	11° 56′	53° 19′	93		6.7			16.4			8.1				—0.4			
Waren	12° 41′	53° 21′	76		6.8			16.8			8.6				—0.6			
Neustrelitz	13° 3′	53° 21′	73		7.0			17.1			8.1				—0.6			

hat gleichmässig für alle Stationen die 50jährige Periode 1851 bis 1900 benutzt. Für Orte, für welche nur kürzere Reihen vorhanden waren, hat er durch Vergleich ihrer Temperaturen mit denjenigen einer Nachbarstation mit langjähriger Reihe dieselben auf die Periode 1851—1900 reduzieren können. Sämtliche Mittelwerte beziehen sich daher auf diese Periode, auf welche auch die mitgeteilten Werte für das angrenzende Gebiet (Hamburg, Berlin [freie Umgebung, Gut Blankenburg], Putbus und Greifswald) bezogen sind. Für die Darstellung des Klimas von Greifswald wurde eine Arbeit von Karl Hahndorf: Das Klima von Greifswald. Diss. Greifswald 1910 benutzt.

Aus den mitgeteilten Zahlen lassen sich die besprochenen Gesetzmässigkeiten deutlich ersehen. Im Winter ist es in Mecklenburg überall kälter, als bei Hamburg, dagegen sind die Küstenstationen (Wustrow, Kirchdorf, Rostock), sowie der Westen (Schönberg, Schwerin) zu dieser Jahreszeit wärmer, als die freie Umgebung von Berlin oder Greifswald, und ebenfalls wärmer als Rügen. Der Südosten von Mecklenburg (Waren, Neustrelitz) sowie das hoch gelegene Marnitz weisen aber annähernd dieselben Wintertemperaturen auf, wie die im Osten angrenzenden Landesteile. Ja das sehr hoch gelegene Hinrichshagen (Seehöhe 103 m) hat sogar kältere Winter als irgendein Ort des in der Tabelle zur Darstellung gelangten Gebietes. Dies gilt auch von der Temperatur aller übrigen Jahreszeiten, sowie von der mittleren Jahreswärme, die in Hinrichshagen nur 7.05° beträgt, während sie sonst in Mecklenburg überall annähernd 8° (meist etwas unter 8°, höchstens 8.03° in Schwerin), westlich und südlich von Mecklenburg 8.1 bis 8.3° beträgt. Im April und Mai ist ausser Hinrichshagen die östliche Küstenstation Wustrow, in den Sommermonaten die westliche Küstenstation Kirchdorf besonders kühl, während zu diesen Jahreszeiten es in Neustrelitz am wärmsten ist, und zwar nicht viel kühler als in dem kontinentaleren mittleren Brandenburg. Im Herbste liegen fast alle angeführten Stationen auf annähernd der gleichen Isotherme, doch haben die Küstenstationen weit gleichmässigere Verhältnisse als das Binnenland, was sich besonders in einer Verspätung der ersten Herbstfröste zeigt.

Ueber diesen schwierigen Punkt (erste und letzte Fröste) sollen nur wenige Worte gesagt werden, da die meteorologische Statistik in dieser Beziehung der Landwirtschaft nur wenig Nutzen bringen kann. Es kann nämlich in klaren, ruhigen Nächten die

Temperatur in der Nähe der Erdoberfläche, sowie der Blattoberfläche der Pflanzen sehr wohl unter 0° erkalten, während die in 2 m Höhe beobachteten Minimaltemperaturen dies nicht erkennen lassen. Es sei daher nur kurz erwähnt, dass durchschnittlich der erste Frost erst Ende Oktober, an der Küste stellenweise erst Anfang November, der letzte Frost in der ersten Hälfte des Mai auftritt. Als äusserste Grenzen können der 28./29. August 1885 und der 21. Juni 1910 gelten. Diese Nachtfröste traten nur strichweise im Binnenlande auf und wurden ebenfalls in Brandenburg und Posen beobachtet. Für die Landwirtschaft sind derartige Vorkommnisse natürlich ein grosser Schade, da sie mit so frühen bezw. späten Terminen wegen ihres seltenen Vorkommens nicht rechnen kann. Immerhin ist es bemerkenswert, dass selbst zur Zeit der kürzesten Nächte starke nächtliche Erkaltungen möglich sind. Die Tabelle bringt ferner in ihren beiden letzten Spalten die mittleren Jahresextreme, d. h. die äussersten Grenzen, bis zu welchen durchschnittlich die Temperatur steigt bezw. fällt. Es ist ersichtlich, dass man, ausser in Wustrow auf dem Fischlande und Kirchdorf auf Poel mit Temperaturmaximis von mehr als 30° C., überall mit Temperaturminimis von mehr als —15° C. rechnen muss. Mecklenburg ist also auch in dieser Hinsicht extremer als die Unterelbe, aber weniger extrem als Brandenburg. Die absoluten Maxima der letzten Zeit traten meist am 16. Juli 1904, die absoluten Minima im Januar 1893, oder (in Schwerin, Waren) im Februar 1912 ein. Es wurde beobachtet:

Absolute Temperaturextreme.

Station	Absolutes Maximum	Absolutes Minimum
Rostock	35.2	—28.3
Kirchdorf	35.2	—27.8
Schwerin	34.9	—27.0
Marnitz	35.3	—26.3
Waren	35.0	—33.3

Die Häufigkeit der Frosttage (Minimaltemperaturen unter 0°) nimmt von Westen nach Osten zu; dasselbe gilt von der Häufigkeit der Eistage (Temperaturmaxima unter 0°), wie aus folgender Uebersicht hervorgeht (die Zahlen beziehen sich bei allen Orten auf die gleiche Periode):

Station	Frosttage	Eistage
Hamburg	72	22
Rostock	96	25
Berlin (Umgebung)	104	29

Heisse Tage mit einer Maximaltemperatur von 25° C. oder mehr sind viel seltener als weiter im Binnenlande, wo fast 30 (in Südwestdeutschland und Oberschlesien sogar über 35) gezählt werden. In Mecklenburg beträgt ihre Zahl durchschnittlich 15 bis 17, immerhin noch beträchtlich mehr als auf den Nordseeinseln, wo z. B. auf Helgoland nur 1—2 solcher Sommertage durchschnittlich im Jahre aufzutreten pflegen.

Die Niederschlagsmengen sind in beiden Grossherzogtümern meist, wie aus nachstehender Tabelle 3 hervorgeht, kleiner, als es dem Durchschnitt für Deutschland entspricht.

Tabelle 3.

Niederschläge in Mecklenburg 1891—1900.

Mecklenburg-Schwerin.

Stationen	H	Regen-Höhe mm	Stationen	H	Regen-Höhe mm
Alt-Gaarz	5	600	Lübtheen	15	645
Bernitt	60	663	Malchin	10	575
Brüel	25	650	Marlow	20	610
Buchholz	65	575	Marnitz	90	645
Dargun	15	584	Moitin	73	620
Doberan	10	632	Penzlin	50	560
Dömitz	15	616	Plau	63	600
Eldenburg	63	584	Rostock	20	586
Friedrichsmoor	40	620	Schwerin	40	609
Gadebusch	35	665	Tarnewitz	10	535
Goldberg	50	647	Teterow	16	574
Gross-Müritz	5	580	Vierkrug	45	681
Güstrow	10	567	Waren	70	592
Hagenow	25	670	Wismar	4	569
Hohen-Viecheln	50	615	Woelschendorf	40	600
Kirchdorf a. Poel	3	545	Wustrow	2	515
Laage	25	598	Zarrentin	40	649

Mecklenburg-Strelitz.

Badrech	93	540	Neustrelitz	70	620
Gross-Schönfeld	70	587			

Prozentrische Verteilung in Schwerin.

Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
7.1	6.8	7.4	5.8	7.7	9.1	12.3	10.1	8.1	9.1	7.8	8.7

Der von Hellmann[1]) für Preussen berechnete Mittelwert beträgt 637 mm. Für ganz Deutschland ist er noch etwas höher. Die grössten Mengen fallen bekanntlich in den Gebirgen: In Oberbayern gibt es Gegenden mit mehr als 2000 mm jährlichen Niederschlages. Selbst in den höheren Teilen unserer Mittelgebirge, z. B. des Harzes, finden wir Jahressummen von über 1000 mm. Immerhin bleiben diese hohen Mengen auf Gebiete von verhältnismässig geringer Ausdehnung beschränkt. Aber auch im westlichen Teile des norddeutschen Flachlandes überschreitet die Niederschlagsmenge vielfach, besonders in dem benachbarten Schleswig-Holstein, 700 mm, einen Wert, der in Mecklenburg nirgends mehr erreicht wird. Die westlichen und die höher gelegenen Teile der Grossherzogtümer haben über 600 mm, während im Osten, und zwar auch schon in Rostock, unter 600 mm fallen. Ist sonach die Niederschlagsmenge nicht wesentlich höher als in dem benachbarten Brandenburg, so gilt dies dennoch von der Regenhäufigkeit. Die Zahl der Tage mit mehr als 0.2 mm Niederschlag beträgt je nach der Lage 155—165, in der Mittelmark rund 150, bei Hamburg etwa 170. Die Tafel der prozentischen Verteilung der Niederschlagsmengen auf die einzelnen Monate zeigt, dass der Juli der nasseste, der April der trockenste Monat ist. Die Tatsache, dass gerade im Beginn des Frühlings oft „unfruchtbares Wetter“ mit Trockenheit und Nachtfrösten herrscht, ist für die Landwirtschaft nicht ohne Bedeutung. In den kontinentaleren Gegenden unseres Vaterlandes, bereits im grösseren Teile von Brandenburg, ferner in Posen, West- und Ostpreussen, weist der Februar, also ein Wintermonat, die kleinsten Niederschlagsmengen auf.

[1]) G. Hellmann: Ueber die relative Regenarmut der deutschen Flachküsten. Sitzungsberichte der Königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften. Sitzung der Physikalisch-Mathematischen Klasse vom 22. Dezember 1904 LIV S. 8. Das hier mitgeteilte Material stützt sich auf folgende Arbeit: G. Hellmann: Regenkarte der Provinzen Brandenburg und Pommern, sowie der Grossherzogtümer Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz. Mit erläuterndem Text und Tabellen. Berlin 1901. Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).

Die Niederschlagshäufigkeit ist im Winter, besonders zu Beginn desselben, am grössten, im April am kleinsten. Schnee fällt an etwa 30—35 Tagen. Leider sind die Beobachtungen über Schneedecke bis jetzt noch nicht verarbeitet, so dass sich über dieses Element noch keine sicheren Angaben machen lassen. Es verdient aber hervorgehoben zu werden, dass die länger anhaltende Schneebedeckung während der zweiten Hälfte des November 1909, sowie der ersten Hälfte des Januar 1911 in Brandenburg, Pommern und weiter östlich sich im grösseren Teile von Mecklenburg auf wenige Tage beschränkt hat. Auch über Luftdruck-, Feuchtigkeits- und Nebelverhältnisse liegen eingehendere Untersuchungen speziell für Mecklenburg nicht vor. Wegen der Verteilung des Luftdruckes über Mitteleuropa sei auf die grundlegende Arbeit von J. Hann verwiesen: „Die Verteilung des Luftdruckes über Mittel- und Südeuropa, dargestellt auf Grundlage der 30jährigen Monats- und Jahresmittel 1851—1880, nebst allgemeinen Untersuchungen über die Veränderlichkeit der Luftdruck-Mittel und Differenzen, sowie deren mehrjährige Periode. Mit 3 Tafeln des Monats- und Jahresisobaren und zahlreichen Tabellen. Wien, Eduard Hölzel, 1887, 220 Seiten.

Die Häufigkeit der einzelnen Windrichtungen entspricht der des mittleren Norddeutschlands (von Ost nach West gerechnet). Es zeigt sich, dass das ganze Jahr hindurch südwestliche und besonders westliche Winde vorherrschen. Erstere haben ihr Maximum im Januar, ihr Minimum im Juni, sind also im Winter die herrschenden Winde, letztere haben ein Maximum im Juli, ein Minimum im Januar, beherrschen also den Sommer. Nächst diesen beiden Richtungen kommen die meisten Winde aus Osten. Der Ostwind hat sein Häufigkeitsmaximum in den Winter- und Frühlingsmonaten, sein Häufigkeitsminimum im Juli.

Die Windstärke ist der küstennahen Lage wegen weit grösser als in den südlicher gelegenen Gebieten, doch lassen sich auch hier kaum Zahlen ableiten, die auf unbedingte Vergleichbarkeit Anspruch machen könnten. Die Windverhältnisse von Deutschland sind kürzlich von Assmann[1]) verarbeitet und zur Darstellung gebracht worden. Auf diese eingehende Untersuchung, in welcher die bis jetzt vorliegenden Beobachtungen über Wind

[1]) R. Assmann: Die Winde in Deutschland. Im Auftrage der Motorluftschiff-Studiengesellschaft in Berlin bearbeitet. Braunschweig, Vieweg und Sohn 1910, 2 Bl. 61 S. 4°.

unter einheitlichen Gesichtspunkten verarbeitet worden sind, möge an dieser Stelle verwiesen werden.

Was die Temperatur der Winde anbelangt, so sind im Winter Süd-, Südwest- und Westwinde als warm anzusehen, d. h. sie sind von Temperaturen über dem Mittel begleitet. Der Nordwestwind leitet die Abkühlung ein; die Temperaturen entsprechen den Normalen. Bei Nord-, Nordost-, Ost- und Südostwinden dagegen pflegt die Temperatur meist unter der Normalen zu liegen. Es sind dies also die eigentlich kalten Winde des Winters. Im Sommer dagegen sind Ost-, Südost-, Süd- und Südwestwinde warm, West-, Nordwest-, Nord- und Nordostwinde kühl. Die häufigste Windrichtung (im Winter Südwest, im Sommer West) ist also im Winter von Temperaturen über dem Mittel, im Sommer von Temperaturen unter dem Mittel begleitet.

Die Sonnenscheindauer einiger Stationen, die an der Küste oder in der Nähe derselben gelegen sind, habe ich für das Jahrzehnt 1898—1907 untersucht. Es ergab sich, dass der ganze Westen mit Einschluss Mecklenburgs etwa 1500 (Rostock 1495) Sonnenscheinstunden im Jahre hat, während weiter östlich z. B. in Kolberg diese Zahl bis 1700 anwächst. In der folgenden Zusammenstellung ist für Rostock in der ersten Spalte die Sonnenscheindauer der einzelnen Monate in Stunden, in der zweiten die mögliche Sonnenscheindauer mitgeteilt worden, d. h. diejenige Dauer, welche in der geographischen Breite von Rostock bestehen würde, wenn die Sonne stets scheinen würde, ohne jemals durch Wolken oder Nebel verdunkelt zu sein. Die dritte Spalte gibt an, wieviel Prozente der möglichen Dauer die wirkliche Sonnenscheindauer ausmacht. Die vierte Spalte enthält die Zahl der sonnenlosen Tage. Zum Vergleiche sind die entsprechenden Zahlen von Kolberg und Berlin (Umgebung) hinzugefügt worden. Es bedeutet ferner φ die geographische nördliche Breite, λ die östliche Länge von Greenwich, H die Seehöhe:

Monat	Sonnenscheindauer in Stunden	Mögliche Sonnenscheindauer in Stunden	Wirkliche Sonnenscheindauer in Prozenten der möglichen Sonnenscheindauer	Zahl der sonnenlosen Tage
		Rostock		
	$\varphi = 54^0\ 5'$	$\lambda = 12^0\ 6'$	H = 22 m	
Januar	39.3	247	15.9	18.4
Februar	46.9	272[1])	17.2	13.5

[1]) In Schaltjahren 11 Stunden mehr.

Monat	Sonnenscheindauer in Stunden	Mögliche Sonnenscheindauer in Stunden	Wirkliche Sonnenscheindauer in Prozenten der möglichen Sonnenscheindauer	Zahl der sonnenlosen Tage
		Rostock		
	$\varphi = 54^0\,5'$	$\lambda = 12^0\,6'$	H = 22 m	
März	99.9	366	27.0	8.8
April	150.9	420	35.9	5.0
Mai	208.1	495	42.1	3.5
Juni	217.6	511	42.6	2.6
Juli	224.6	510	44.0	1.6
August	189.3	457	41.4	1.5
September	161.4	378	42.7	3.4
Oktober	88.5	324	27.3	8.0
November	48.6	254	19.1	15.0
Dezember	20.2	228	8.9	22.7
Jahr	1495.3	4462[1])	32.5	104.0
		Kolberg		
	$\varphi = 54^0\,11'$	$\lambda = 15^0\,33'$	H = 20 m, später 2 m	
Januar	53.8	246	21.9	15.8
Februar	59.7	271[1])	22.0	11.4
März	101.1	366	27.6	9.8
April	162.0	420	38.6	4.7
Mai	249.4	496	50.3	2.0
Juni	249.8	511	48.9	1.9
Juli	265.9	512	51.9	0.9
August	222.5	457	48.7	1.6
September	160.6	378	42.5	2.6
Oktober	101.5	324	31.3	6.1
November	59.8	253	23.6	11.7
Dezember	33.4	228	14.7	18.2
Jahr	1719.5	4462[1])	38.5	86.7
		Berlin (Umgebung)		
	$\varphi = 52^0\,33'$	$\lambda = 13^0\,21'$	H = 35 m	
Januar	45.0	254	17.7	15.4
Februar	54.4	275[2])	19.8	11.0
März	104.2	367	28.4	8.2
April	154.9	417	37.1	3.8
Mai	224.4	487	46.1	1.6
Juni	243.6	499	48.8	1.4

[1]) In Schaltjahren 11 Stunden mehr.
[2]) In Schaltjahren 10 Stunden mehr.

Monat	Sonnenscheindauer in Stunden	Mögliche Sonnenscheindauer in Stunden	Wirkliche Sonnenscheindauer in Prozenten der möglichen Sonnenscheindauer	Zahl der sonnenlosen Tage
		Berlin (Umgebung)		
	$\varphi = 52^0\ 33'$	$\lambda = 13^0\ 21'$	H = 35 m	
Juli	239.0	501	47.7	1.6
August	227.3	453	50.2	0.5
September	148.5	378	39.3	3.9
Oktober	102.8	327	31.4	6.1
November	52.5	260	20.2	14.1
Dezember	35.5	238	15.0	16.9
Jahr	1631.9	4456 [1])	36.6	84.5

Zum Schluss noch einige Bemerkungen über das Klima der mecklenburgischen Seebäder.

Wenngleich von keinem derselben langjährige Temperaturbeobachtungen vorliegen, so können wir uns doch aus den Beobachtungen in Wustrow und Kirchdorf auf Poel ein Bild von ihrem Klima machen. Wie aus der mitgeteilten Tabelle 2 hervorgeht, sind daselbst die mittleren Jahresextreme gemässigter nicht nur als im weiteren Binnenlande, sondern auch als im ganzen übrigen Mecklenburg. Wie Herr Jörss [2]) für Warnemünde gezeigt hat, gilt dies auch für die Sommermonate in Warnemünde. Beobachtungen über die Wintertemperatur daselbst fehlen zurzeit noch. Es entspricht dies dem von Hellmann [3]) nachgewiesenen Verhalten, dass der Einfluss der Ostsee sich weniger weit in das Inland erstreckt als der Einfluss der Nordsee, dass vielmehr oft nur der engste Küstensaum an dem Seeklima teilnimmt. Andererseits haben die vorstehenden Darlegungen gezeigt, dass auch in unmittelbarster Nähe des Meeres an der deutschen Ostseeküste grosse klimatische Unterschiede zwischen dem Westen und Osten bestehen. Diese Tatsache darf bei Untersuchungen über den Einfluss des Ostseeklimas auf die Gesundheit nicht ausser acht gelassen werden.

[1]) In Schaltjahren 10 Stunden mehr.

[2]) E. Jörss: Zehnjährige meteorologische Beobachtungen in Warnemünde, auf Veranlassung der Badeverwaltung ausgeführt und zusammengestellt (Sonderabdruck aus der Zeitschrift für Balneologie, Klimatologie und Kurort-Hygiene. V. Jahrgang. Nummer 19).

[3]) G. Hellmann: Einige Bemerkungen über das Strandklima. Berlin (1912), 3, S. 4.

Ueber Krebstheorien.

Antrittsvorlesung, gehalten am 5. Mai 1913

von

Dr. Robert Hanser-Rostock.

Eingegangen bei der Redaktion am 17. Juni 1913.

„Noch wissen wir nicht, wodurch die Krebskrankheit hervorgerufen wird. Noch sind wir bis heute nur auf Vermutungen und Hypothesen angewiesen.“ Diese Worte von Jakob Wolff, des Sanitätsrates und praktischen Arztes in Berlin, dem wir das hervorragende Werk: Die Lehre von der Krebskrankheit von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart (Fischer, Jena 1907, Vorwort S. VII) verdanken, möchte ich meinen Ausführungen voranschicken; lassen sie doch erkennen, dass wir uns vorerst damit begnügen müssen, die verschiedenen Hypothesen und Theorien kennen zu lernen, denen bisher trotz ernsten Strebens, trotz gründlicher, gewissenhafter, auch möglichst objektiver Arbeit die Lösung dieser für die gesamte Menschheit so wichtigen Probleme versagt blieb.

Es mag mir hier der Einwurf begegnen, was kann uns die Kenntnis all' dieser Bemühungen nützen; wissen wir doch, dass bisher die eingeschlagenen Wege nicht zum Ziele führten. Es muss dies zugegeben werden; demgegenüber muss aber betont werden, dass wir — vielleicht von dieser oder jener Theorie abgesehen, die wir als einwandfrei widerlegt ausschalten dürfen — auch heutigen Tages noch nicht einmal aussagen können, auf welchem bisher gewählten Wege wir dem Endziele am nächsten sind. Mehr oder weniger ein jeder, der sich mit den hier in Frage stehenden Problemen auch nur oberflächlich beschäftigt hat, ist Anhänger dieser oder jener Theorie geworden, oder erblickt in diesem oder jenem Wege den aussichtsreichsten. Und im Interesse

einer mehr oder weniger vorgefassten Meinung werden andere Theorien abgelehnt. So sei nur daran erinnert, dass so manche — Ribbert u. a. — bereits definitiv von einer parasitären Theorie nichts mehr wissen wollen; und doch lassen Befunde der jüngsten Zeit, wie wir sie dem Kopenhagener Pathologen Fibiger[1]) verdanken, — wenn es sich hierbei auch um tierisches Material handelte — auch diese Annahme nicht unbegründet erscheinen. Kurzum, wir wissen heutigen Tages noch nicht, welcher Weg zum Ziele führt. Mag sein, dass systematische Arbeit das Rätsel zu lösen vermag; vielleicht bleibt es einem Glücklichen vorbehalten, durch richtige Deutung, vielleicht gar eines zufälligen Befundes, eine Frage zu beantworten, die, soweit die Geschichte des Krebses reicht, die forschende Menschheit auf das intensivste beschäftigte. Wann und wie sie ihren Abschluss finden wird, wissen wir nicht; es wäre ein müssiges Unternehmen, sich hier in mehr oder minder vagen theoretischen Erwägungen zu ergehen. Wollen wir aber tatkräftig mitarbeiten, so gilt es meines Erachtens in allererster Linie, Grundlagen zu gewinnen, auf denen alles weitere sich aufbauen kann. Und da möchte ich glauben, bleibt die Kenntnis bisher geleisteter Arbeit unerlässlich. Die Geschichte lehrt uns, welche Theorien einer scharfen Kritik weichen mussten; welche Theorien zu weiterer Arbeit aufzufordern imstande sind. Nur so kann vermieden werden, dass ein Weg, der sich bereits als aussichtslos erwies, von neuem betreten wird. Andererseits wiederum konnte Wolff, der wie kaum ein anderer mit bewundernswertem Fleisse die Geschichte des Carcinoms studiert hat, feststellen, dass gar oft eine Theorie, die schon längst widerlegt war, immer von neuem wieder von Forschern mit von anderer Seite bereits durchdachtem und erbrachtem Beweismateriale bekämpft wurde. Kurzum, die Kenntnis der Geschichte kann vor manchem zeitraubenden Umwege, ja selbst Rückschritt schützen. Und aus diesem Grunde mag es berechtigt erscheinen, wenn ich — ganz abgesehen von dem allgemeinen Interesse dieser Fragen, — versuche, in kurzer Uebersicht die verschiedenen „Krebstheorien“ zu skizzieren. Von vornherein sei betont, dass von einer erschöpfenden Darstellung dieses Gebietes selbstredend nicht die Rede sein kann. Die Kürze der Zeit gestattet noch nicht einmal einen flüchtigen Ueberblick über dies unendliche Gebiet, dessen

[1]) Berl. klin. Woch. No. 7, 1913.

Anfänge bis in das graue Altertum zurückreichen. Ich muss mich darauf beschränken, der wesentlichsten Theorien der neueren Zeit zu gedenken.

Es bleibt also mehr oder weniger meinem willkürlichen Ermessen überlassen, welchen zeitlichen Ausgangspunkt ich für meine Darstellungen wähle. Trotzdem aber fällt es nicht schwer, aus den Arbeiten des vergangenen Jahrhunderts einige herauszugreifen, die von grundlegender Bedeutung für alle weiteren Fragen der Krebsforschung wurden.

Wohl wissen wir, dass die von keinem Geringeren als dem Altmeister Virchow bereits im Jahre 1853 vertretene Bindegewebstheorie nicht allseitige Anerkennung finden konnte.

Omnis cellula e cellula: So wertvoll dieser für alle Zeiten massgebende Grundgedanke, irrig war Virchows Ansicht über die Entstehung der Cancroidzellen aus Bindegewebskörperchen.

Und somit dürfte wohl als bedeutungsvoller Wendepunkt in der Geschichte der Krebsforschung gelten der einwandsfreie Nachweis des epithelialen Ursprungs der Carcinome.

Schon in früheren Jahren war von verschiedenen Autoren wie Rokitansky, Lebert u. a. auf die Uebereinstimmung der Zellen eines Hautkrebses mit denen der Epidermis hingewiesen worden, nicht vergessen sei an dieser Stelle der ausserordentlichen Verdienste Robert Remaks, des Begründers der Cellularphysiologie, dem die Entwicklungsgeschichte die Lehre von den 3 Keimblättern verdankt. Weder funktionell noch formativ kann eine Mischung dieser Blätter eintreten. Es kann mithin aus dem mittleren Keimblatte, aus dem alle Bindegewebsteile, Knorpel, Knochen, Muskeln, Gefässe etc. hervorgehen, niemals Epithel werden. Epitheliale Zellen können sich, wie Remak betont, nur aus Epithelialzellen entwickeln, sei es nun, dass sie an Stellen, wo sie auch sonst vorkommen, gefunden werden, oder dass sie durch Abschnürung an die betreffende Stelle gelangten oder aber, dass es sich um verirrte, liegengebliebene embryonale Keime handelte. Wir werden noch sehen, dass gerade diese letztgenannte Hypothese in der weiteren Geschichte des Carcinoms von weitgehender Bedeutung werden sollte. Trotzdem aber vermochte sich Remak mit seiner Lehre gegenüber der Autorität eines Virchow nicht durchzusetzen.

Dies blieb Carl Thiersch vorbehalten, der auf der Naturforscher-Versammlung zu Speyer im Jahre 1861 und durch seine

in den späteren Jahren erschienenen Arbeiten, seiner diesbezüglichen, wohl begründeten Auffassung die verdiente Anerkennung zu verschaffen wusste.

Die Epoche der „Epithelialtheorie“ hatte damit begonnen; eine feste Grundlage für weitere Forschung war nunmehr gegeben.

Systematische, genaue Untersuchungen Carl Thierschs haben dieser jüngsten Theorie in kurzer Zeit kräftige Stützen verliehen. In unermüdlichem Eifer hat Thiersch auch den mikroskopischen Nachweis seiner Theorie zu erbringen gewusst. Ausgehend von der Fragestellung, ob die Zellen des Carcinoms von den Epithelzellen abstammen, galt es folgende Aufgaben zu lösen.

1. (cit. nach Wolff S. 229.)

Wo liegen die epithelialen Massen, hängen sie mit dem Epithelialüberzug, den Drüsen, den Haaren zusammen, sind diese normalen Epithelialgebilde vorhanden oder fehlen sie, sind sie verdrängt oder im Zustande der Atrophie?

2. Wie weit erstrecken sich die epithelialen Krebsmassen, wo liegen ihre jüngsten, wo ihre ältesten Formationen?

3. Auf welche Weise breitet sich der Krebs aus?

4. Wie verhält sich das Stroma, treibt es Papillen, oder liefert es nur das Fachwerk für die Aufnahme der epithelialen Massen?

Das Resultat dieser sehr umfangreichen Untersuchungen — auf die hier nicht näher eingegangen werden kann — ist in Kürze darin zu erblicken, dass der Epithelialkrebs aus Epithel hervorgeht, nicht aus Bindegewebe, dass mithin das Epithel einen durchaus aktiven Faktor in der Genese des Carcinoms bildet; das Bindegewebe produziert weder unter normalen, noch unter pathologischen Verhältnissen Epithelien. — Mit dieser Erklärung, die sich heute wohl allgemeiner Anerkennung erfreuen darf, ist aber noch nicht die Antwort gegeben auf eine Frage, die in letzter Linie das Ziel der hier in Rede stehenden Forschungen bedeutet. Noch wissen wir nicht, wann und unter welchen Umständen sich das Carcinom entwickelt. Mit dieser Fragestellung betreten wir das Gebiet der Theorien, deren es eine Fülle gibt. Sie alle sind bis auf den heutigen Tag Theorien geblieben, ist es doch bislang nicht gelungen, „den direkten Uebergang

einer Zelle in das schrankenlose, destruierende Wachstum, das sie zu einer malignen macht, zu sehen".[1])

Dass dies dereinst gelingen wird, lässt die Möglichkeit experimenteller Erzeugung maligner Tumoren keineswegs ausgeschlossen erscheinen. Ob allerdings mit Beantwortung dieser Frage der formalen Genese auch die Frage der kausalen Genese restlos beantwortet werden kann, bleibt abzuwarten.

Die Theorien nun, die ich in Kürze besprechen möchte, können wir mit Lewin in zwei grosse Gruppen teilen. „Die eine sieht die Ursache der Blastomatose in angeborenen Verhältnissen und führt demgemäss die Geschwulstbildung auf kongenitale Ursachen zurück, zum Teil unter Annahme konstitutioneller Grundlagen. Die andere Richtung dagegen erblickt in der Geschwulstentstehung Folgen äusserer Einflüsse, welche normale oder veränderte Körperzellen zu bösartigen Neubildungen veranlassen, und auch hier spielen konstitutionelle Verhältnisse eine gewisse Rolle. Diese äusseren Ursachen können nun mannigfacher Natur sein. Je nach der Art des angenommenen auslösenden Momentes entwickelt sich eine Reiztheorie, eine Parasitentheorie usw." (Lewin, S. 178.)

Bereits Thiersch, der das Morphologische der Krebsfrage so weitgehend gefördert und geklärt hatte, versuchte auf eben diesem cellular-pathologischen Boden die Frage nach der eigentlichen Ursache der Krebsbildung zu beantworten. Nach ihm entsteht ein Krebs, „wenn das statische Gleichgewicht, in welchem seit Ablauf der Entwicklung die anatomischen Gegensätze des Epithels und Stromas verharrten, gestört ist." (Wolff, I. S. 231.)

Das Primäre also ist das Vordringen und unregelmässige Wachsen des Epithels, was durch Welkwerden des Stromas begünstigt werden kann (senile Disposition).

Aber mit dieser Hypothese fand Thiersch wenig Anerkennung. Selbst Waldeyer, der die Thierschsche Epithelialtheorie vollauf anerkannte und weiter ausbaute, konnte sich mit diesem Versuche, das Hauptproblem der Krebsgenese zu lösen, nicht einverstanden erklären. Ja, er behauptete geradezu das Gegenteil. Die Ursache der Malignität erblickt Waldeyer in der atypischen Wucherung der Zellen: Anstatt regelmässiger, drüsiger

[1]) Lewin, Die bösartigen Geschwülste. 1909, S. 178.

Acini werden atypische, keiner normalen Form angehörige epitheliale Massen gebildet, die häufig der sonst vorhandenen Lumina entbehren und an Stelle normaler Zellensekretion regressive Metamorphose erkennen lassen. Gegenüber der Thierschschen Erklärung ist der Gedankengang Waldeyers folgender: Mit zunehmendem Alter gehen die epithelialen Elemente zugrunde; es tritt sogar eine indurative Bindegewebswucherung an ihre Stelle, wodurch epitheliale Elemente abgeschnürt werden können. Und „aus diesen abgeschlossenen Epithelien können Neoplasmen entstehen.“ Aber auch diese Hypothese dürfte kaum befriedigen, zumal auch ihr die oben bereits hervorgehobene Schwäche anhaftet, dass sie nur der Frage der formalen Genese gerecht zu werden sucht.

Eine grosse Reihe von Forschern bemühte sich nun, das Krebsproblem von entwicklungsgeschichtlichen Gesichtspunkten aus zu lösen.

Da wäre denn in allererster Linie der Cohnheimschen Embryonaltheorie zu gedenken.

Wie ich bereits oben streifte, erklärte bereits Remak das Auftreten epithelialer Zellen an Stellen, wo sie sonst nicht gefunden werden, durch Liegenbleiben verirrter embryonaler Keime. Auch Thiersch und Waldeyer hatten bereits in diesem Sinne entsprechende Befunde gedeutet. Auch Virchow hatte daran gedacht. Jedoch derjenige, der in grösserem Massstabe die Lehre einer kongenitalen Ursache der malignen Geschwülste als neue aetiologische Hypothese aufstellte, war im Jahre 1875 Julius Cohnheim. Es werden bei der embryonalen Entwicklung Zellen und Zellgruppen aus dem normalen Zusammenhang gelöst; sie bleiben als mehr oder minder differenziertes, unaufgebrauchtes Material liegen, um später bei irgendeiner Gelegenheit, insbesondere bei gesteigerter Ernährungszufuhr (Hyperaemie, Entzündung), ferner bei Traumen, im Anschluss an wirksame Reize u. dergl. m., schliesslich auch bei Herabsetzung der Wachstumswiderstände, bei allgemeinen Veränderungen des Körpers geschwulstmässig zu proliferieren. Der Zeitpunkt einer derartigen überschüssigen Zellbildung wird von Cohnheim in die Zeit zwischen endgiltiger Differenzierung der Keimblätter und der Anlagebildung der einzelnen Organe verlegt. Ein jeder derartiger embryonaler Geschwulstkeim trägt die Bedingungen abnormen Wachstums in sich.

In der Jugend vermag das benachbarte Gewebe die Entwicklung der Geschwulst zu verhindern, da es selbst das erforderliche Ernährungsmaterial verbraucht. Anders im Alter: die Widerstandskräfte der Gewebe werden schwächer, der zur Geschwulstbildung disponierte embryonale Keim vermag in das umgebende Gewebe vorzudringen. Es ist mithin „die Malignität lediglich eine Folge des veränderten Gewebswiderstandes der umgebenden Teile, nicht eine im Wesen der Zellen liegende Eigenschaft." (Lewin, S. 180.)

Wir kennen eine ganze Reihe von Befunden, die ohne weiteres der Cohnheimschen Theorie als Stütze dienen können. Es sei hier nur in aller Kürze an Carcinome erinnert, die aus epithelhaltigen Neubildungen entstehen, die ihrerseits wieder aus embryonalen Entwicklungsstörungen abzuleiten sind. Es genüge der Hinweis auf Carcinome, die sich auf dem Boden von Atheromen, Epithelcysten, Teratomen entwickelt haben; ferner sei hingewiesen auf Geschwulstbildungen aus abgesprengten Epithelkeimen, wie die branchiogenen Krebse, auf die auf übrig gebliebene Zahnbildungskeime zurückzuführenden Adamantinome, schliesslich auf Carcinome, die aus heterotopen Epithelien hervorgegangen sind.

Die Häufigkeit von Carcinomen an den Orifizien — Auge, Praeputium, Zunge, Lippe, Cardia usw. — ist, wie Cohnheim selbst hervorhebt, in der Weise zu erklären, dass in irgendeinem Stadium der Embryonalzeit eine Komplikation der Verhältnisse insofern eintritt, „als Einstülpungen eines Keimblattes, Vereinigungen mit anderen Keimblättern, Trennungen in verschiedene Organe usw. vor sich gehen, die leicht zur Abtrennung von Epithelien resp. zu überschüssiger Bildung solcher Veranlassung geben können." (Lewin, S. 181.)

Es sind also nicht chronische Reize, die, wie es Virchow annimmt, die Häufigkeit der Carcinome dieser Stellen bedingen, sondern lediglich Folgeerscheinungen entwicklungsgeschichtlicher Momente.

Neben diesen Tatsachen, die durchaus für die Cohnheimsche Theorie sprechen, war man auch bemüht, auf experimentellem Wege dieser „Embryonaltheorie" weitere Stützen zu geben. So versuchte z. B. Kelling durch Injektion von Embryonalmasse Carcinome zu erzeugen; es konnten jedoch meist nur Cysten oder dergleichen Tumoren hervorgerufen werden; atypische Wucherungen mit

progressiver Wachstumstendenz, also blastomatöse Gebilde zu erzielen, gelang nicht.

Kurzum, es bedurfte noch weiterer Stützen, wollte man dieser Theorie, die bereits viele Freunde gefunden hatte, allgemeine Anerkennung verschaffen. Auf die vielerlei Einwände, die sich die Cohnheimsche Theorie gefallen lassen musste, will ich nicht weiter eingehen. Es sei hier vielmehr derjenigen Theorien gedacht, die einen weiteren Ausbau der Embryonaltheorie bedeuten. In Frage kommen hier die Theorien von Wilms, Borrmann und insbesondere von Ribbert.

Was nun die erstgenannte Theorie betrifft, so baut sie sich auf der Cohnheimschen Lehre auf, doch finden wir in den Wilmsschen Anschauungen hinsichtlich der Entstehung der Tumoren auch neue Gesichtspunkte. Doch ist auch mit dieser Theorie das schrankenlose Wachstum noch keineswegs erklärt.

Wilms geht von seinen Arbeiten über die Genese der Mischgeschwülste aus, deren Entstehung er auf die Entwicklung liegen gebliebener Furchungszellen zurückführt. Es soll sich also um undifferenzierte embryonale Zellen handeln, die sich erst bei Wachstum der Geschwulst weiter differenzieren. Der Unterschied gegenüber der Cohnheimschen Theorie ist nun darin zu suchen, dass diese undifferenzierten Keime nicht im eigentlichen Sinne versprengt sind, sondern sich gerade in den Organen entwickeln, zu deren Aufbau sie unter normalen Verhältnissen bestimmt sind. Ein derartiger Keim wird bei der Entwicklung ausgeschaltet und bleibt zunächst liegen; er verliert den Zusammenhang mit dem umgebenden Gewebe und somit die Möglichkeit normaler Differenzierung. Die wesentlichste Ursache zur Tumorbildung erblickt demnach Wilms nicht in einer Keimversprengung, sondern Keim-Ausschaltung, „einer Ausschaltung also aus dem Wachstum des normalen Zellverbandes“ (Wolff I S. 379). Es fehlen die zu normaler Differenzierung erforderlichen gegenseitigen Relationen des Gewebes, es kommt zu einer Wucherung dieser Keime und schliesslich zu einer malignen Geschwulstbildung.

Während nun bisher keineswegs für sämtliche Fälle von Carcinom eine embryonale Entstehung angenommen wurde, wollte Borrmann eine derartige Genese auf alle bösartigen Geschwülste übertragen wissen. Er glaubte nämlich auch für submucöse und subepidermoidale Carcinome den Beweis erbracht zu haben, dass sie nicht mit dem Oberflächenepithel in Zusammenhang stehen,

mithin also aus abgesprengten Epithelkeimen entstanden sein müssen. Es soll z. B. der Zylinderzellkrebs seinen Ursprung nicht von den Drüsen nehmen, sondern von den Lymphbahnen dicht unterhalb der Muscularis mucosae u. s. f. Borrmann also beansprucht für die Cohnheimsche Theorie Giltigkeit in allen Fällen bösartiger Geschwülste. Ich will hier auf die gar mannigfachen Punkte, die gegen diese Theorie sprechen könnten, nicht weiter eingehen. Aber darauf möchte ich hinweisen, dass auch dieser Theorie die bereits oben gerügte Schwäche anhaftet, dass sie zwar zum Verständnis der formalen Genese beizutragen vermag, dass sie aber hinsichtlich der Frage der kausalen Genese so gut wie garnichts aussagt. Auch ist die Malignität mit dem Hinweis auf den embryonalen Charakter des Ausgangsmaterials keineswegs erklärt.

Diesen und anderen Schwächen der Cohnheimschen Theorie versuchte nun Ribbert zu begegnen.

Auch er nimmt die Theorie Cohnheims in ihren Grundzügen an, erweitert sie aber — und hierin ist der wichtigste Unterschied zu erblicken, — auf das postembryonale Leben.

Es bedarf also keineswegs des Vorhandenseins freiliegender foetaler Keime; es können vielmehr, wenn durch einen allmählich verlaufenden entzündlichen Prozess einzelne Zellen oder ganze Zellkomplexe aus dem Zusammenhang mit den übrigen Geweben gelöst werden, die isolierten Teile ein von dem Ganzen unabhängiges, selbständiges Wachstum führen. Also in der Ausschaltung, in der Loslösung aus dem physiologischen Verbande erblickt Ribbert die Veranlassung des Wachstums. (cit. nach Wolff, I. S. 378.) „Schon Weigert hatte betont, dass ein Zellwachstum, das bisher nur in geringem Masse vorhanden war oder überhaupt schlummerte, nur eintritt, wenn die innere Spannung der Gewebe leidet, d. h. wenn um oder zwischen den in Frage stehenden Gewebsbestandteilen andere Zellen zugrunde gehen. Ribbert hingegen nimmt an, dass die Ausschaltung aus dem normalen Verbande in gleicher Weise wie der Fortfall von Geweben wirkt, aber nur dann, wenn die Keime nicht mehr jene inneren wachstumshemmenden Beziehungen haben, welche im normalen Zellverbande wirksam sind, um ein in sich geschlossenes Ganzes, z. B. ein Organ zu bilden. Nur dann, wenn mit der Verlagerung also auch eine Aenderung der Struktur verbunden ist, ist die normale innere Spannung nicht gegeben, und aus dem Keim kann ein Tumor werden.“ (Lewin, S. 192.)

Hierzu bedarf es aber einer günstigen Ernährung des ausgeschalteten Keimes. Und diese ist gegeben durch die entzündliche Hyperaemie der Umgebung des Tumorkeimes.

Somit gelangt Ribbert zu dem Schlusse:

„Das Carcinom entsteht auf Grund einer subepithelialen Entzündung, die gewöhnlich durch Stoffe, die aus dem Epithel stammen und resorbiert werden, hervorgerufen und auch weiterhin unterhalten wird. Diese Veränderung im Bindegewebe bewirkt einen Verlust an Differenzierung im Epithel und löst dessen Tiefenwachstum aus. Je mehr das Epithel in das Bindegewebe hinein gelangt, um so mehr verliert es den physiologischen Zusammenhang mit dem Ausgangsepithel, um so mehr schaltet es sich selbst aus. So wird es zu dem selbständigen parasitär den Körper durchwuchernden Krebsepithel.“

Zusammenfassend lautet also die Ribbertsche Theorie:

„Das Carcinom entsteht auf Grund einer durch Epithelprodukte bewirkten, die Differenzierung des Epithels vermindernden und sein Tiefenwachstum auslösenden subepithelialen Entzündung.“ [1])

Es ist dies eine ausserordentlich feinsinnige, und von Ribbert vorzüglich durchgeführte Theorie; aber zu befriedigen vermag auch sie keineswegs. Ganz abgesehen davon, dass es bisher nicht gelungen ist, durch Experimente wirklich einwandfreie Stützen für diese Theorie zu gewinnen, muss vor allem mit Albrecht darauf hingewiesen werden, dass selbst mehrere Jahre bestehende entzündliche Infiltrationen des subepithelialen Bindegewebes zu beobachten sind, „ohne dass sie je zur Selbständigmachung des Bezirks und zur Ausschaltung des Epithels aus dem funktionellen Verbande führen.“ (Lewin, S. 199.) Und andererseits wiederum müsste die Zahl maligner Tumoren eine ganz enorme sein, würde die Lösung der betreffenden Zellen aus ihrem Zusammenhange an sich schon ihre Wucherungsfähigkeit erklären.

Es sind also ganz gewichtige Gründe, die gegen die Ribbertsche Theorie sprechen, die von ihm selbst auch heute noch in ganz entschiedener Weise vertreten wird. Wir ersehen daraus, dass wir uns auch noch in den gegenwärtigen Zeiten inmitten der Streitigkeiten in der Frage der Krebstheorien befinden. Selbstverständlich wäre es falsch, diese Theorien, die in ihrer endgiltigen Lösung nicht befriedigen können, von Grund aus zu

[1]) Ribbert, Das Carcinom des Menschen. Bonn 1911, S. 504.

verwerfen; so sei gerade hinsichtlich der Ribbertschen Theorie ausdrücklich darauf hingewiesen, dass tatsächliche Grundlagen gegeben sind, die sehr wohl weiterhin berücksichtigt werden können, ja berücksichtigt werden müssen. Fraglich bleibt vorerst nur, ob die vorhandenen Tatsachen, auf denen sich Ribberts Theorie aufbaut, nicht auch andere Schlüsse und Folgerungen zulassen.

Die bisher erwähnten Theorien erblicken also in den zur Geschwulst werdenden Zellen Gebilde des Geschwulstträgers. Demgegenüber kommt nun Kelling zu einer höchst merkwürdigen, phantastischen Theorie über die Genese der Tumoren, insbesondere des Carcinoms. Nach ihm sind die Krebszellen körperfremde, embryonale Zellen, die aus anderen Lebewesen stammen, die nicht einmal der gleichen Spezies anzugehören brauchen. Vor allem kommen niedere Tiere in Frage, wie Regenwürmer, Schnecken, Fliegen u. dergl. Als Ausgangselemente der Geschwülste kämen also mit der Nahrung aufgenommene, lebende tierische Zellen in Betracht. Kelling selbst will bei Impfversuchen, also auf experimentellem Wege im Sinne seiner Theorie positive Resultate erzielt haben. Auch serologische Befunde schienen ihm dafür zu sprechen. So hatte er im Blute von Krebskranken Praezipitine gefunden, und zwar in einigen Fällen gegen Hühnereiweiss, zweimal gegen Schweineeiweiss. Es wäre danach die Krebsentstehung auf die Aufnahme lebender Zellen der entsprechenden Tiere zurückzuführen. Doch fanden sich auch hier reichlich Gegner, die Beweismaterial gegen diese Theorie erbringen konnten; sie dürfte heute als völlig verlassen gelten.

Ebensowenig Freunde fanden Hypothesen, die die Entstehung der Krebse in Kernkopulation erblickten. Nach Klebs ist es die Vereinigung von Epithelkernen mit Kernen eingewanderter Leukocyten, nach Karg findet eine Befruchtung von Epithelzellen durch Leukocyten statt, nach Hallion kommt es zu Krebszellen durch gegenseitige Befruchtung von Epithelien; nach Kronthal ist ebenfalls eine Befruchtung der zum Tumor werdenden Zellen das wirksame Moment. Die befruchtenden Zellen sollen nicht aus demselben, sondern aus einem anderen Individuum stammen.

Auch Aichels Theorie gehört hierher. Das Grundlegende ist auch für ihn die Vereinigung epithelialer Kerne mit denen der Leukocyten. Die somatischen Zellen, die sonst nur benigne Geschwülste liefern können, erhalten durch diesen Vorgang die Fähigkeit, wie maligne Neubildungen zerstörend zu wuchern. Die

hierdurch entstehenden Krebszellen behalten einerseits die epithelialen Charaktere, auf der anderen Seite gewinnen sie als Eigenschaften des Leukocyten die Fähigkeit, zu wandern, und die Möglichkeit, andere Teile aufzulösen. — So geistreich diese Theorie, es fehlen ihr so gut wie alle objektiven Stützen. Denn erstens ist der Vorgang der Kopulation von Leukocyt und Epithelzelle bis heute noch niemals gesehen worden, und zweitens muss es durchaus fraglich bleiben, ob eine derartige Zellvereinigung, vorausgesetzt, dass sie überhaupt vorkommt, auch wirklich die hier angenommenen Folgen haben würde. Vorerst also entbehrt diese Theorie vollkommen tatsächlicher Grundlagen; von einer experimentell gewonnenen Stütze kann vollends überhaupt nicht die Rede sein.

Von diesen letztgenannten Theorien abgesehen, haben wir bereits eine Reihe von Theorien kennen gelernt, die in dem malignen Wachstum Folgen embryonaler Keimversprengung resp. Ausschaltung, schliesslich auch postfotaler Vorgänge — ich erinnere an Ribberts Ausführungen — erblicken. Aber sie alle können nur über die formale Genese Aufschluss geben. Die Frage nach dem „Warum“ kommt es zur malignen Wucherung?, bleibt unbeantwortet.

Bereits eine Reihe von Hypothesen sucht auch dieser Frage gerecht zu werden. Sie laufen im wesentlichen darauf hinaus, dass die Zellen, die zur malignen Wucherung Veranlassung geben, in ihren biologischen Verhältnissen verändert seien. Derartige qualitativ veränderte Zell- und Gewebseigenschaften können nun entweder angeboren sein oder aber vorher durchaus normale Zellen betreffen.

Im ersteren Sinne äusserten sich Borst und in gewissem Sinne auch Schwalbe. Im Grunde genommen handelt es sich hierbei um eine von vornherein gegebene Atypie der Zellen. Selbst für embryonal oder auch später aberrierte Keime muss angenommen werden, dass sie primär qualitativ abnorm waren. Anders ist ein malignes Wachstum nicht möglich. Es handelt sich nach Borst um pathologische Variationen des Idioplasmas der betreffenden Zelle, die auf vorerst unübersehbare Momente zurückzuführen sind; nach Schwalbe kann es sich um eine Zellmissbildung handeln; wenn er auch ausdrücklich betont, dass diese Möglichkeit nur neben anderen ins Auge gefasst werden soll; nach beiden Autoren käme also eine primäre, angeborene biologische Zellveränderung in Betracht.

Nun gibt es aber eine Reihe von Tatsachen, die gegen eine angeborene Wesensänderung der Zelle sprechen. Es sei hier daran erinnert, dass z. B. in der Schilddrüse gar häufig Uebergänge vom einfachen Adenom zum Carcinom zu beobachten sind; dass ferner Chorionepitheliome eine Erklärung im Sinne von Borst-Schwalbe kaum zulassen dürften. Auch sonst gibt es eine Reihe von Erfahrungen, die dazu zwingen, die Eigenschaft des destruierenden Wachstums als sekundär zu betrachten.

Die Frage, wie sich diese Epithelveränderung vollzieht, versuchte nun von Hansemann zu beantworten. Die Tatsache der in malignen Tumoren häufig zu beobachtenden asymmetrischen Mitosen, deren Bedeutung allerdings noch nicht genügend geklärt ist, brachte er in Zusammenhang mit der Verminderung der Differenzierung maligner Zellen, die somit an Selbständigkeit gewinnen. Es tritt ein Verlust an Struktur und Funktion ein. Diese biologischen Veränderungen an den Zellen fasst von Hansemann in dem Begriff der Anaplasie zusammen, die nach seiner Ansicht das grundlegende Moment maligner Geschwulstbildung bedeutet.

Dem Begriffe der Anaplasie stellt Benecke denjenigen der Kataplasie gegenüber. Die Steigerung der Wachstumsenergie bei gleichzeitiger entsprechender Abnahme der spezifischen Funktionskräfte ist nach Benecke die einzig nachweisbare Differenz zwischen der normalen und der Geschwulstzelle. Diese letztere, in ihren funktionellen und vegetativen Eigenschaften verändert, verliert oder vermindert ihre Funktion, sie erkrankt. Es handelt sich um einen Niedergang der Zelle, um eine Kataplasie. Die Anomalien der Mitose sind nach Benecke die Folge primärer Zellstörungen, und nicht an sich primäre Erscheinungen.

Auf die Definition Hausers, der in den malignen Zellen neue Zellrassen erblickt, sei ebenfalls in Kürze hingewiesen; auch sie entbehrt, wie Lewin ausführt, sowohl morphologisch wie physiologisch der Grundlagen, sie kann keine Allgemeingültigkeit beanspruchen. Auf andere Theorien, wie die von Klebs, Israel u. s. f. will ich nicht weiter eingehen.

Zusammenfassend muss auch über diese Theorien gesagt werden, dass sie die Histogenese der Tumoren, die formale Genese verständlicher machen, aber keine eigentliche Erklärung der Aetiologie bedeuten. Von Hansemann selbst gibt dies für seine Lehre von der Anaplasie unumwunden zu. „Wie die Annahme embryonaler Zellen als Grundlage der malignen Geschwülste noch

eines Faktors bedarf, der uns die von der Norm abweichende Entwicklung von embryonalen Zellen zu Geschwulstzellen erklären müsste, ebenso bedarf die Lehre von der biologischen Wesensänderung der malignen Zellen einer Ergänzung. Es muss die Ursache der Umwandlung des biologischen Verhaltens der Zellen erklärt werden." (Lewin S. 211.)

Wieder andere Theorien erblicken die Ursachen der Geschwulstbildung in konstitutionellen Verhältnissen. Während die bisher erwähnten Hypothesen die Entstehung maligner Tumoren als einen mehr oder weniger lokalen Prozess hinstellen, kommt durch die nunmehr in Frage stehenden Theorien zum Ausdruck, dass hierbei der ganze Organismus als solcher eine wichtige Rolle spielt. Es ist dieser Faktor bei so vielen anderen Erkrankungen zu beachten, dass dieser Gedankengang durchaus einleuchten muss. Eine besondere Stütze dieser Theorie ist durch die alltägliche Erfahrung gegeben, dass maligne Tumoren besonders im höheren Alter beobachtet werden.

Dass Syphilis der Eltern ebenfalls zu bösartiger Geschwulstbildung disponieren soll — wie dies besonders Esmarch betonte — kann nicht weiter verwundern, wenn wir uns vor Augen führen, für welche Erkrankungen im Laufe der Zeit die Lues verantwortlich gemacht wurde. Billroth sprach von einer allgemeinen spezifischen Geschwulstdiathese, nach Benecke beruht die krankhafte, konstitutionelle Anlage auf einer pathologischen Beschaffenheit der Säfte. Immerhin könne die Konstitution allein noch nicht einen Krebs hervorrufen, es müssten noch Gelegenheitsursachen hinzukommen. Bis dahin bliebe die Krebsdiathese latent.

Eine weitere Theorie ist diejenige B. Fischers, der auf Grund seiner bekannten Oel- und Fettinjektionen in das Kaninchenohr zu der Annahme gelangte, dass es sich bei dem Wachstum der Geschwülste um spezifische chemotaktische Wirkung auf bestimmte Epithelarten handelte. Er nannte solche Stoffe Attraxine. Die Fischerschen Versuche wurden von verschiedenen Seiten nachgeprüft. Man kann — das ist heute wohl die allgemein giltige Ansicht — in den von Fischer festgestellten Veränderungen nichts weiter sehen als eine durch einfache Reizwirkung erfolgte atypische Epithelwucherung, wie sie vielfach im Anschluss an Traumen, Entzündungen, chemische oder physikalische Reize entstehen. Was zudem seine Theorie betrifft, so beansprucht

er für jeden zur Geschwulst bestimmten Gewebskeim spezifische und nur auf diesen wirksame Attraxine. Mit Recht betont Albrecht, dass hierdurch das Verständnis der Geschwulstgenese nicht verständlicher wird, als wenn wir in der Zelle selbst die Ursache suchen.

Auf weitere hierher gehörige Theorien will ich nicht eingehen. Der Begriff Konstitution ist ein so wenig umschriebener, dass die Annahme konstitutioneller Momente kaum allgemein befriedigen dürfte. Selbst wenn sie eine Rolle spielen, so muss doch wohl in den Zellen selbst irgendetwas besonderes gewesen sein, etwas primäres, das für die Entstehung der malignen Geschwulst massgebend ist. Alle Betrachtungen führen, so lautet die Schlussfolgerung von Albrecht, immer wieder auf den gleichen Punkt zurück: „so gewiss die Bedeutung des allgemeinen Körperzustandes insbesondere in chemischer Hinsicht nicht unterschätzt werden darf (Art- und Rassenunterschiede, Alter, Gravidität, Ernährungszustand, bestehende Immunität, bestehende Tumoren), als ausschlaggebend für die erste Entstehung wie für das erste Wachstum von Tumoren erscheint immer die Beschaffenheit der Ausgangszellen.“ (cit. nach Lewin, S. 218/219.)

„Das Problem ist und bleibt also, — so führt Lewin aus — die Ursache der ersten Veränderung der malignen Zelle zu ergründen.“

Ich komme nunmehr auf jene Theorien zu sprechen, die in der Geschwulstentstehung Folgen äusserer Einflüsse, die normale oder bereits veränderte Zellen treffen, erblicken. Da wäre denn zuerst der mechanischen Ursachen zu gedenken.

Vorausschicken möchte ich nur, dass wir eigentlich erst mit diesen Fragen das Gebiet der kausalen Genese betreten. Denn alle die bisher erwähnten Momente entwicklungsgeschichtlicher Art, dann die Zellveränderungen in biologischer Hinsicht können uns nur verständlich machen, welche Zellen oder Zellkomplexe für eine maligne Geschwulstbildung in Frage kommen. Worin das in letzter Linie auslösende Moment zu suchen ist, wird von diesen Theorien nicht berührt.

„Es kann als eine aetiologische Theorie im eigentlichen Sinne nur diejenige Geltung haben, welche das Zustandekommen der primären Abartung der Biologie und z. T. auch der Morphologie der Zellen erklärt. Als eine solche Theorie können wir aber, — wie Lewin ausführt (S. 220) — einzig und allein die Reiz-

theorie anerkennen. Denn auch die infektiöse Theorie, welche die Ursache der bösartigen Wucherung in Parasiten irgendwelcher Art erblickt, ist ja im letzten Grunde nichts als eine Reiztheorie. Ob der Reiz durch chemische und physikalische Einflüsse oder durch parasitäre Einwirkungen, die doch auch vor allem chemischer Art sein müssen, seine die Zellen so tiefgehend umgestaltende Tätigkeit ausübt, ist im letzten Grunde dasselbe."

Was nun die aetiologische Bedeutung des Traumas als mechanische Ursache der Krebsentstehung betrifft, so ist gerade diesem Faktor aus wohl verständlichen Gründen schon in frühen Zeiten eine weitgehende Bedeutung zugeschrieben worden.

War auch der innere Zusammenhang von Trauma und Krebsbildung nicht zu erklären, Erfahrung und klinische Beobachtung lehrte, dass hier eine innige Beziehung bestehen müsse. Man kann immerhin auch noch heute sagen, dass der klinische Beweis, dass ein Trauma normale Epithelien unmittelbar zu Krebsepithelien umwandeln kann, bisher noch nicht erbracht werden konnte. Es hat auch vielmehr den Anschein, als ob ein Trauma nur den Boden für eine Krebsentwicklung vorbereitet. Insofern also scheint ein indirekter Zusammenhang zu bestehen. Ob eine direkte traumatische Einwirkung auf pathologisch veränderte Epithelien eine Krebsbildung hervorzurufen vermag, muss dahingestellt bleiben. Es muss anscheinend zwischen Trauma und Carcinombildung noch irgendein Faktor eingeschoben werden. Es ist dies z. B. nach Brosch ein produktiver oder entzündlicher Prozess, nach Ribbert ein Stadium der Bindegewebswucherung.

Eine ganze Reihe von Forschern ist geneigt, dem Trauma überhaupt jegliche Bedeutung in der Krebsaetiologie abzusprechen; andere hingegen wollen die Entstehung des Krebses auf traumatischer Grundlage so aufgefasst wissen, dass die äussere Gewalteinwirkung einen bisher latent verlaufenden Krebs manifest werden lässt. Mit dieser letzten Ansicht stimmen klinische Befunde in grosser Zahl überein; auch spricht für die Berechtigung einer derartigen Annahme sehr wohl die klinische Erfahrung, dass im Anschluss an ein Trauma bereits bestehende Symptome schlimmer werden und die Erkrankung an sich einen schnelleren Verlauf nimmt. In gleicher Weise vermögen auch dauernde Traumen, chronische Reize, zu wirken. So ist es eine vielseitig anerkannte Annahme, dass derartige Reize den Boden, auf dem sich ein Carcinom entwickeln kann, vorbereiten; die hierdurch ent-

standenen Entzündungen und Katarrhe führen zu Veränderungen der Epithelien. So sei z. B. an Gallen- und Harnblasenkrebse erinnert, die sich an vorausgegangene Steinbildung anschliessen, an die Phimose, die zum Peniscarcinom disponiert, ferner an die an Ostien und engen Stellen entstandenen Carcinome, die man darauf zurückzuführen sucht, dass sie durch ihre Lage ganz besonders häufig Insulten ausgesetzt sind.

Alle diese Momente dürften da eine Rolle spielen, wo sie bereits etwa im Sinne der Embryonaltheorien veränderte Zellen treffen, während es durchaus unwahrscheinlich erscheint, dass auch normale Zellen durch chronische Reize direkt zu Krebszellen werden können. Niemals also wäre das Trauma die eigentliche Ursache der Geschwulstbildung. Nach Boström, der diesen Standpunkt vertritt, kann eine vorher nicht dazu disponierte Körperzelle durch ein Trauma nicht zu malignem Wachstum veranlasst werden. Wäre dies unter Umständen möglich, so müsste unbedingt gefordert werden, dass die Gewalteinwirkung auch wirklich genau die Stelle traf, an der später die Tumorbildung manifest wurde, und dass ferner Trauma und Geschwulstbildung zeitlich und auch sonst durch eine Reihe von Symptomen mit einander in Verbindung stehen. Experimentell ist es jedenfalls bis auf den heutigen Tag nicht gelungen, durch eine Trauma eine bösartige Geschwulst zu erzeugen. Wäre dies der Fall, so wäre wenigstens für einen Teil der Fälle — keineswegs für alle — das auslösende ursächliche Moment bekannt. Aber einer derartig sicheren Stütze entbehren wir heute noch. Die ganze Frage von Trauma und Geschwulstbildung muss daher mit von Hansemann dahin beantwortet werden, „dass man den Zusammenhang wohl wissenschaftlich diskutieren, aber um als Basis z. B. für Unfallgutachten zu dienen, doch für viel zu unsicher ansehen muss.“ (Lewin S. 223.)

Anschliessend sei hier einiger chronisch wirkenden Reize gedacht, die in chemischen oder medikamentösen Einwirkungen bestehen. Auch sie können nicht direkt zur Krebsbildung führen, es kommt vielmehr zunächst zu Veränderungen der Haut und Schleimhäute, auf deren Boden sich später die malignen Geschwülste bilden.

Es sind ganz bestimmte chemische Stoffe, die, wie die klinische Erfahrung lehrt, in ganz besonderem Masse zu derartigen Geschwulstbildungen Veranlassung geben. Es spielen hierbei

gewiss auch mechanische Faktoren mit. Zu derartigen Hautreizungen führen z. B. Russ und Paraffin.

Der Schornsteinfegerkrebs, wie wir den auf Russ zurückzuführenden Krebs bezeichnen, ist schon lange bekannt. Es war insbesondere Percivall Pott, der bereits im Jahre 1775 in England bei Schornsteinfegern eine Hodenerkrankung beschrieb. Es war bisher diese Erkrankung für syphilitisch gehalten worden, erst Pott erkannte in ihr eine krebsige Affektion. Es entstehen zuerst warzige Verdickungen der Skrotalhaut, die oft lange Zeit stationär bleiben oder nur langsam fortschreiten. Diese sogenannte Russwarze („Sool-Wart" der Engländer, „Poireau de la Suie" der Franzosen) zerfällt später, dringt in die Tunica ein und breitet sich in die Bauchhöhle und Inguinaldrüsen hinein aus. Pott beschuldigte seinerzeit die in England üblichen heissen und engen Schornsteine.

Auch an anderen Körperstellen sollen derartige Affektionen vorkommen. So lesen wir bei Wolff (II. S. 142), dass z. B. Curling an dem Handrücken eines Gärtners, der Russ auf Pflanzen mit dem Handrücken zu streuen pflegte, entsprechende Veränderungen konstatierte. An den Füssen, sowohl an den Zehen, als auch an der Fusssohle, wurde diese Affektion von Will (1882) bei Frauen beobachtet, die den Russ beim Verpacken mit den Füssen zu treten pflegten, am Ohr von Paget (1863) bei Arbeitern, die die Russsäcke auf der Schulter trugen.

Auch in Amerika, Frankreich und Deutschland war diese Erkrankung, wenn auch selten beobachtet worden. Aber nicht allein bei den Schornsteinfegern, sondern auch bei den Ofenheizern in den Minenwerken soll diese Krankheit ziemlich häufig beobachtet worden sein und zwar nicht nur an der üblichen Stelle, dem Skrotum, sondern oft auch an der Nasolabialfalte des Gesichts, und zwar hier infolge von Reizung durch die mit Russ beschmutzte Hand.

Heute wird der sogenannte Schornsteinfegerkrebs so gut wie nicht mehr beobachtet. Der verhältnismässig gutartige klinische Verlauf, dann die Tatsache, dass trotz jahrelangen Bestehens der Erkrankung keine Metastasen beobachtet werden, dass ein Uebergreifen dieser Skrotalkrankheit auf den Hoden nicht vorkommt, hat mit Recht die Echtheit der Krebsnatur dieser Affektionen bis in die neueste Zeit fraglich erscheinen lassen.

Ebenso unbestimmt sind die klinischen Erfahrungen, dass Destillationsprodukte der Kohle, nämlich Teer und Paraffin, dem Schornsteinfegerkrebs gleichzustellende Erscheinungen hervorrufen können.

Es ist im Jahre 1874/1875 R. v. Volkmann gewesen, von dem die ersten genaueren Berichte über die Beziehungen des Teers und Paraffins zur Krebsentstehung stammen. Bei Beschäftigung mit diesen Stoffen entwickelt sich bei den Arbeitern häufig ein Ekzem mit schuppigen und warzigen Bildungen, das man als „Teer- oder Paraffinkrätze“ bezeichnet.

Dieses akut entzündliche Stadium geht in ein chronisch hyperplastisches über. Die Haut wird pergamentartig, es entwickeln sich papilläre Bildungen, aus denen bei der geringsten weiteren Reizung ein Hornkrebs entsteht, besonders am Skrotum und an den Armen.

Auch diese Erkrankung war in früheren Jahren für syphilitisch gehalten worden, doch gab die histologische Untersuchung Aufschluss über die Natur dieses Leidens. Die Prognose ist auch hier durchaus günstig. Zu Metastasenbildung besteht keinerlei Neigung und der Verlauf ist ein ausserordentlich langsamer. Bei frühzeitiger Operation kann radikale Heilung erzielt werden. Interessant ist, dass die Disposition zu dieser Erkrankung eine ausserordentliche Rolle spielt; es gibt Arbeiter, die sofort erkranken, während andere dauernd verschont bleiben.

Auch andere Substanzen aus dem Destillationsprozesse der Steinkohle zeigen gleiche Folgeerscheinungen wie Russ und Teer. Es sei hier auf die Neubildungen der Blase bei Naphthol- und Anilin-Arbeitern hingewiesen.

Noch eine ganze Reihe von Substanzen aus dieser Gruppe, wie Petroleum, Kreosot können bei Arbeitern ähnliche Erscheinungen hervorrufen. Experimentelle Versuche blieben jedoch bisher ergebnislos.

Interessant ist ferner, dass bei innerem Arsenikgebrauch, wie J. Hutchinson mitteilt, Hautcarcinome entstehen können, und zwar hauptsächlich am Handteller und an den Fusssohlen. Histologisch zeigt der Arsenikkrebs zuerst eine Art von Pachydermie, die dann in multiple Krebsbildung übergeht.

Eine weitere Form der durch bestimmte äussere Reize hervorgerufenen Carcinome ist der Röntgenkrebs. Eine einmalige, wenn auch schwere Verbrennung durch Röntgenstrahlen führt

nicht zur Tumorbildnng. Es ist hierzu eine chronische Einwirkung erforderlich. Vor der Carcinomentwicklung kommt es zu längeren Vorstadien, in denen die Haut stärkere Verhornung, Keratose zeigt; sie wird rauh und rissig. Wir sprechen von einer Röntgen-Dermatitis. Viel häufiger aber entsteht die Geschwulst auf dem Boden einer bereits bestehenden Hautaffektion; in Frage kommt insbesondere Lupus, bei dem zwar an und für sich schon Tumorbildungen nicht selten zur Beobachtung gelangen. Nach Ribbert ist der wesentlichste Faktor bei der durch Röntgenbestrahlung hervorgerufenen Krebsbildung, dass sich chronisch entzündliche Vorgänge im subepithelialen Bindegewebe abspielen. Es finden sich derartige Erkrankungsfälle insbesondere auch bei Leuten, die mit Röntgenstrahlen beruflich vielfach in Berührung kommen. Unna ist geneigt, das Röntgencarcinom als direkte Gewerbekrankheit anzusehen. Bisher sind wir auch bei den Röntgenstrahlen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Carcinomaetiologie auf klinische Erfahrung angewiesen, „während die biologische und eigentlich aetiologische Ursache, weshalb aus der Dermatitis ein Carcinom entsteht, auch hier noch ihrer Aufklärung harrt.“ (Wolff.)

Schliesslich sei noch auf Carcinome aufmerksam gemacht, wie sie auf dem Boden von Narben, Geschwüren, Entzündungen u. s. f. entstehen. Bekannt ist der Zusammenhang von Leukoplakie der Zunge mit Carcinom, von Ulcus ventriculi mit Magenkrebs, von Mastitis mit Brustkrebs u. dergl. mehr. Es könnte hier eine Fülle von Beispielen angeführt werden; doch bleibt auch hier durchaus fraglich, inwieweit derartige Erklärungen die Frage nach der eigentlichen Ursache der bösartigen Wucherungen beantworten.

Nunmehr komme ich auf eine Frage zu sprechen, die wie kaum eine andere das Interesse von Pathologen und Klinikern in Anspruch genommen hat; die Frage, ob Parasiten und welche Parasiten in der Aetiologie der Geschwülste eine Rolle spielen.

Es ist verständlich, dass nach den grossen Entdeckungen auf dem Gebiete der Aetiologie der Infektionskrankheiten auch die Frage auftauchte, ob das Carcinom nicht ebenfalls auf Parasiten zurückgeführt werden könne. Man hatte zudem Gründe genug, auch den Krebs zu den Krankheiten zu rechnen, die einer parasitären Ursache ihre Entstehung verdanken. Gab es doch klinische Beobachtungen allgemeiner Art, die Veranlassung gaben, das Carcinom als eine kontagiöse Krankheit anzusehen.

Im 17. und 18. Jahrhundert hielt man den Krebs für ebenso ansteckend wie die Phthise. Nach Junker kommt es allerdings nur dann zur Geschwulstbildung, wenn das Krebsmaterial auf eine an Oberhaut defekte Stelle kommt. Dann schienen Kontaktinfektionen bei einem und demselben Individum für die Parasitentheorie zu sprechen.

So beobachtete Kaufmann, dass bei einem Manne mit einem Cancroid des Handrückens sich ein Carcinom der Conjunktiva entwickelte, das nur dadurch entstanden sein konnte, dass sich der Kranke häufig mit der krebskranken Hand das Auge rieb. In gleichem Sinne dürfte zu deuten sein, wenn z. B. bei Carcinom der Oberlippe eine Erkrankung der Unterlippe eintritt, wenn bei einem Vaginalkrebs die gegenüberliegende Seite erkrankt. An die hin und wieder beobachtete epidemische und endemische Ausbreitung des Carcinoms sei hier kurz erinnert. Alle diese Beobachtungen waren aber nur klinischer Natur; bindende Beweise für die Kontagiosität des Krebses fehlten noch. Um diese zu erbringen, nahm man das Experiment zu Hilfe. Die Frage, um die es sich handelt, ist die: Unter welchen Bedingungen ist der Krebs übertragbar, und welcher Natur ist das überimpfbare Agens? (Wolff I. S. 526.)

Die Literatur verfügt über eine geradezu unendliche Zahl von Mitteilungen, die diesbezügliche Experimente betreffen. Positive und negative Resultate wurden erzielt. Aber was beweisen die gelungenen Experimente für die Aetiologie des Krebses? Hanau, einer der erfolgreichsten Experimentatoren, hielt den Beweis für die parasitäre Aetiologie des Krebses durch die positiven Tierexperimente nicht für erbracht. Nach seiner Ansicht handelt es sich blos um Transplantationen. Nach Hauser sind die Experimente „nur dann massgebend für die parasitäre Natur des Krebses, wenn es gelingt, durch Reinkulturen oder durch Implantation von Krebsgewebe, welches den Parasiten in lebensfähigem Zustande enthält, das Gewebe des Versuchstieres selbst zur krebsigen Wucherung anzuregen, wenn wir also z. B. nach Verbringung des infektiösen Materials unter die Rektalschleimhaut die Darmdrüsen, oder nach Applikation in das subkutane Zellgewebe die epithelialen Elemente der Haut des Versuchstieres in krebsige Wucherung geraten sehen! Es muss dann eine vom praeexistierenden Epithel ausgehende, schrankenlose Wucherung zur Entwicklung typischen Krebsgewebes führen!“

Erst wenn diese Forderungen erfüllt sind, kann das Krebsproblem hinsichtlich seiner Aetiologie als gelöst gelten. Das Krankheitsbild des Krebses wäre dann ebenso verständlich, wie es z. B. bei der Tuberkulose und den meisten akuten Infektionskrankheiten der Fall ist. Aber davon kann bisher nicht die Rede sein. Denn auch die in dieser Hinsicht positiven Resultate erfuhren selbst von seiten der Experimentatoren eine ablehnende Kritik. Welcherlei Gebilde im Laufe der Jahre als Krebsparasiten angesprochen wurden, kann hier nicht in Einzelheiten ausgeführt werden, zumal sich nicht leugnen lässt, dass nach dem, was über die parasitäre Natur des Krebses an Versuchen und Experimenten mitgeteilt worden ist, das weitgehendste Misstrauen am Platze erscheint. Das Resultat der auf diesem Gebiete geleisteten geradezu unendlichen Arbeit kann dahin zusammengefasst werden, dass der gesuchte Parasit bis heute noch nicht gefunden worden ist. Ob aber damit das geringste gegen die parasitäre Theorie bewiesen ist, muss nach wie vor fraglich bleiben. Dabei ist zu berücksichtigen, dass mancherlei dafür spricht, dass die Aetiologie der malignen Geschwülste **keine** einheitliche ist. Was nun das Für und Wider der Parasitentheorie betrifft, so haben wir bereits von mancherlei klinischen Tatsachen gehört, die ganz entschieden im Sinne parasitärer Aetiologie des Krebses gedeutet werden müssen. Aber es gibt auch Gründe, die von Anhängern der parasitären Theorie für ihre Richtigkeit angeführt wurden, die keineswegs stichhaltig sind. So sei zunächst an die allgemeine Verbreitung im Körper auf dem Wege der Metastasenbildung erinnert, ein Vorgang, der durchaus den Eindruck einer Infektionskrankheit mache. Demgegenüber muss betont werden, dass zwischen Metastasenbildung bösartiger Geschwülste und dem Verbreitungsmodus einer Infektionskrankheit prinzipielle Verschiedenheiten bestehen. In den Metastasen der Geschwülste sind es nichts als verschleppte Tumorzellen, die aus sich heraus ohne aktive Beteiligung der Gewebe, in die sie verschleppt sind, wachsen. Dagegen ist die Metastase der Infektionsgeschwülste nichts als eine reaktive Wucherung auf den Reiz des verschleppten spezifischen Erregers (Lewin). Ebensowenig ist die Transplantation von Tier zu Tier für die Infektionstheorie zu verwerten. Auch hier sind eben die überimpften Zellen Ausgangsmaterial, und nicht Zellen des geimpften Tieres. Auch eine Uebertragungsmöglichkeit auf artfremde Individuen vermag aus diesem Grunde

die Parasitentheorie nicht zu beweisen. „Es handelt sich hier lediglich um Ernährungsfragen, nicht um aetiologisch irgendwie ins Gewicht fallende Vorgänge. Daher vermag ihr positiver oder negativer Ausfall in keiner Weise für oder gegen die Infektionstheorie ins Gewicht zu fallen. Kein Vorgang also, bei dem eine Verbreitung oder Uebertragung von Geschwulstteilen auf einen andern Teil des Körpers oder auf ein anderes Individuum geschieht, kann als Beweis einer Infektion gelten."

Anders liegen die Verhältnisse, wenn es gelingt, nicht das Geschwulstmaterial selbst, sondern Extrakte, Filtrate oder dergleichen erfolgreich zu überimpfen. Ich möchte hierbei an Mitteilungen erinnern, die erst vor kurzer Zeit in der Berliner klinischen Wochenschrift veröffentlicht wurden. Darnach ist es zwei amerikanischen Autoren, Peyton Rouss und James B. Murphy (aus New York) gelungen, ein filtrierbares Agens als Ursache eines in ihrem Laboratorium gezüchteten Osteochondrosarkoms eines Huhnes zu gewinnen. Es gelang ihnen, mit diesem Agens Spindelzellensarkome zu erzeugen, in denen sich sogar — wie im Ausgangsmateriale — echtes Knorpelgewebe fand. Es ist ja auch mit diesen Befunden noch keineswegs ein Beweis für die Parasitentheorie erbracht; immerhin dürften sie als eine weitere Stütze gelten, kann es doch sehr wohl sein, dass es sich auch bei der Geschwulstbildung weniger um direkte Parasitenwirkung handelt als um Folgen chemischer resp. toxischer Stoffe, die jedoch in letzter Linie von Parasiten gebildet worden sind.

Eine weit gewichtigere Stütze ist in dem Vorkommnn von Krebsendemien zu suchen. Diese sind — wenigstens bei Tieren — bereits auf eine unbestreitbar sichere Grundlage gestellt. So hat z. B. Thorel Fälle beschrieben, wo beinahe eine richtige Inkubationszeit der Krankheit festgestellt werden konnte. Dass es sich hierbei nur um parasitäre Infektion handeln kann, ist gewiss nicht zu leugnen.

Was die Transplantationsversuche betrifft, so ist von Hauser gelegentlich betont worden, dass diese nur dann für die parasitäre Natur des Krebses massgebend sind, wenn es gelingt, durch Implantation des Krebsgewebes das Gewebe des Versuchstieres selbst zur krebsigen Wucherung anzuregen; mit anderen Worten, wenn nach Impfung von Tumormaterial nicht dieses selbst, sondern das benachbarte, vorher normale Gewebe des geimpften Tieres geschwulstmässig proliferiert. Es würde sich dann gleichsam um eine

experimentell erzeugte Primärgeschwulst handeln. Diese Forderung erscheint erfüllt durch Versuche von Ehrlich-Apolant, die in der 69. Impfgeneration eines Mammakrebses der Maus bei dem geimpften Tiere ein Sarkom auftreten sahen. Auch Lewin verfügt über entsprechende Befunde, ist es ihm doch gelungen, durch Impfung eines Adenocarcinoms bei Ratten die Zellen der Haut zu einer Cancroidwucherung zu bringen. Und so wäre über Versuche und theoretische Erwägungen in der Frage der Krebsparasiten noch unendlich viel anzuführen. Es gibt überzeugte Gegner dieser Theorie, ebenso wie warme Anhänger: Und diese Tatsache allein dürfte schon genügen, um ihre — wenigstens vorläufige — Berechtigung nicht zu bestreiten. Welcher Art der Parasit ist, das wissen wir heute noch nicht. Aber schliesslich hatte man auch die infektiöse Natur der Syphilis längst gekannt, ehe man den Erreger gefunden hatte. Es bleibt auch auf diesem Gebiete noch mancherlei zu tun übrig; sei es nun, dass ein spezifischer Erreger gefunden wird, oder aber, dass Tatsachen herbeigebracht werden, die unter keinen Umständen sich mit der Theorie parasitärer Krebsgenese vereinbaren lassen.

Dieser kurze Ueberbick über die Arbeiten auf dem Gebiete der Krebstheorien dürfte zur Genüge veranschaulichen, welch' vielseitiges und auch welch' ernstes Streben der Lösung des Problems der kausalen Genese bösartiger Geschwülste gegolten hat und auch heute noch gilt. Noch aber harrt die Frage, wie die maligne Wucherung zustande kommt, einer einwandsfreien Beantwortung. Keine der bisher aufgestellten Theorien vermag eine einheitliche Erklärung aller Erscheinungen zu geben. Die Frage ist und bleibt, welche Umstände sind imstande, die maligne Umgestaltung der Zellen zu bewirken. Dabei liegt, wie Lewin betont, keine logische Notwendigkeit vor, dass es sich um einen einzigen spezifischen Erreger der malignen Geschwülste handeln muss, es können sehr wohl verschiedene uns z. T. noch unbekannte Mikroorganismen in Frage kommen. Dass ausserdem konstitutionelle Verhältnisse des Organismus dabei eine Rolle spielen, ist ohne weiteres verständlich. Den derzeitigen Stand unseres Wissens möchte ich mit Lewin (S. 251) dahin zusammenfassen:

Die bösartige Geschwulst ist die Folge des Zusammenwirkens von Vorgängen, die lokal in der wahrscheinlich durch Reizwirkungen hervorgerufenen blastomatösen Umwandlung von nor-

malen Körperzellen ihren Ausgang nehmen, durch die Mitwirkung allgemeiner konstitutioneller Verhältnisse aber zu einer für den Gesamtorganismus mehr oder minder erheblichen Bedeutung gelangen.

Die experimentelle Geschwulstforschung hat uns gezeigt, dass es möglich ist, die Abwehrkräfte des Organismus gegen die Wirkung der blastomatös gewordenen Zelle zu erhöhen, ihre verderbliche Tätigkeit lahmzulegen. Aus dieser Tatsache schöpfen wir die Hoffnung, dass auch die spezifische Bekämpfung der bösartigen Geschwülste, dieser Geissel der Menschheit, gelingen, dass dem Zusammenwirken von anatomischer und experimenteller Forschung auch im Kampfe gegen die malignen Tumoren ein endgiltiger Erfolg beschieden sein wird.

Die Transfiguration ebener Kurven von rechtwinkligen cartesischen auf A-Normalen- und A-Strahlbüschel-Koordinaten.

Von

Fr. Harms, cand. math., Borbeck.

Hierzu Tafel 13—20.

Eingegangen bei der Redaktion am 17. Juni 1913.

§ 1. Transfigurationen.

Die gebräuchlichsten Koordinatensysteme sind das cartesische und das Polarkoordinatensystem.

Im rechtwinkligen cartesischen Koordinatensystem werden die Abszissen auf einer Geraden, die Ordinaten von dieser Geraden aus auf dazu senkrechten Geraden gemessen.

Im Polarkoordinatensystem werden die Abszissen auf der Peripherie des Einheitskreises, die Ordinaten vom Mittelpunkt desselben aus auf den Radien gemessen.

Beiden Koordinatensystemen ist also gemeinsam, dass die Abszissen auf Kreisen gemessen werden — nämlich bei Polarkoordinaten auf dem Einheitskreise, bei cartesischen Koordinaten auf einem Kreise mit dem Radius ∞ — und die Ordinaten auf Geraden, die zur Peripherie dieser Kreise senkrecht stehen, also auf den Radien derselben.

Das Polarkoordinatensystem und das cartesische sind daher Spezialfälle von einem Koordinatensystem, in dem die Abszissen auf einem Kreise vom Radius r, die Ordinaten auf den Radien dieser Kreise gemessen werden. Weil die Koordinaten in diesem

Koordinatensystem auf einem Kreise und seinen Normalen gemessen werden, können wir es Kreis-Normalen-Koordinatensystem nennen. Den Kreis, auf dem die Abszissen gemessen werden, nennen wir den „Abszissenkreis“.

Wir können vom Kreis-Normalen-Koordinatensystem zum rechtwinkligen cartesischen gelangen, indem wir den Punkt O auf der Peripherie des Abszissenkreises, von dem aus wir die Abszissen messen, festhalten und den Mittelpunkt des Abszissenkreises auf dem durch O gehenden Radius ins Unendliche rücken. Der Punkt O wird dann der Anfangspunkt des cartesischen Koordinatensystems, vorausgesetzt, dass die Ordinaten von der Peripherie des Abszissenkreises aus gemessen werden.

Messen wir die Ordinaten nicht von der Peripherie des Abszissenkreises aus, sondern von der Peripherie eines mit ihm konzentrischen Kreises vom Radius $(r - 1)$, und lassen dann den Radius des Abszissenkreises zu 1 werden, so gelangen wir zum Polarkoordinatensystem.

Auf dieselbe Weise können wir auch umgekehrt vom rechtwinkligen cartesischen bezw. vom Polarkoordinatensystem zum Kreis-Normalen-Koordinatensystem gelangen.

Das Grösser- und Kleinerwerden des Abszissenkreises wollen wir uns nun so vorstellen, als ob die Peripherie aus sich selber herausgezogen bezw. in sich selber hineingeschoben würde.

Denken wir uns nun irgendeine Kurve Γ gegeben in einem rechtwinkligen cartesischen Koordinatensystem und gehen auf die beschriebene Weise von rechtwinkligen cartesischen zu Kreisnormalenkoordinaten über, so wird sich die Gestalt der Kurve Γ genau in der Weise ändern, als wenn wir die Kurve mit der Abszissenachse fest verbunden denken und die Abszissenachse auf den Abszissenkreis aufwickeln.

Wir können dies Verfahren mit „Transfiguration der Kurve Γ von rechtwinkligen cartesischen auf Kreisnormalenkoordinaten“ bezeichnen.

Eine viel allgemeinere entsprechende Transfiguration der Kurve Γ würde ihre Transfiguration von rechtwinkligen cartesischen auf Normalenkoordinaten irgendeiner Kurve A sein.

Wir wollen uns nun die Aufgabe stellen, zu untersuchen, was für eine Gestalt eine Kurve Γ annimmt, wenn wir sie von rechtwinkligen cartesischen auf A-Normalenkoordinaten transfigurieren.

Es ist ohne weiteres klar, dass die neue Kurve in A-Normalenkoordinaten dieselbe Gleichung besitzt wie die alte Kurve in rechtwinkligen cartesischen; denn die Abszissen und Ordinaten der alten Kurve in cartesischen Koordinaten haben genau dieselben Grössen wie die entsprechenden Abszissen und Ordinaten der neuen Kurve in A-Normalenkoordinaten.

Die Methode, Kurven zu erzeugen, indem man die Gleichung einer Kurve auf irgendein anderes Koordinatensystem überträgt, nennt Loria die „Methode der Koordinatenverwandlung".[1])

Eine Anwendung dieser Methode findet sich zuerst bei Varignon[2]). Später findet sie mehrfach Anwendung bei Peters[3]), Krause[4]) und Cesarò[5]), sowie bei Cantor[6]) und Tortolini[7]).

Da wir die durch Transfiguration der Kurve Γ von cartesischen auf A-Normalenkoordinaten entstehende Kurve Γ_w geometrisch erhalten, indem wir die Kurve Γ mit der Abszissenachse des cartesischen Systems fest verbinden und die Abszissenachse auf die Kurve A aufwickeln, so können wir die Kurve Γ_w als die „A-Wickelkurve der Kurve Γ" bezeichnen.

Kreisnormalenkoordinaten sind nun aber nicht nur ein Spezialfall von A-Normalenkoordinaten, sondern auch von A-Strahlbüschelkoordinaten. Das A-Strahlbüschelkoordinatensystem besteht aus einer Kurve A, auf der die Abszissen, und einem Strahlbüschel, auf dem von der Peripherie der Kurve A aus die Ordinaten gemessen werden. Hiernach ergibt sich sofort, dass das Kreis-

---

[1]) Loria: „Ebene Kurven" (Leipzig 1902), VII. Abschnitt. Erstes Kapitel. Vergl. ebd. die in den Fussnoten angegebene Literatur.

[2]) Petr. Varignon: „Nouvelle formation de spirales, beaucoup plus differentes entre elles de ce qu'on peut imaginer d'autres courbes quelconques à l'infini; avec les touchantes, les quadratures, les déroulements et la longueur de quelques arcs de ces spirales, qu'on donne seulement ici pour exemple de cette formation générale." (Mém. de Paris, Année MDCCIV, Paris 1722.) Ueber die Varignonsche Methode vergl. auch Loria: „Ebene Kurven", pag. 595 ff.

[3]) A. Peters: „Neue Kurvenlehre." (Dresden 1835.)

[4]) C. C. F. Krause: „Novae theoriae linearum curvarum originariae et vere scientificae specimina quinque prima Auctore Carolo Christiano Friederico Krause. Edidit: Professor H. Schröder. Monachii anno MDCCCXXXV."

[5]) Cesarò: „Lezioni di geometria intriseca." (Neapel 1896.)

[6]) M. Cantor: „Ueber ein weniger gebräuchliches Koordinatensytem." (Diss. Frankfurt a. M. 1851.)

[7]) B. Tortolini: „Mémoire sur quelques applications de la méthode inverse des tangentes." (Crelles Journal XXVI, 1843.)

normalenkoordinatensystem nichts anderes ist als ein Kreis-Strahlbüschelkoordinatensystem, in welchem der Scheitel des Strahlbüschels im Mittelpunkte des Kreises gelegen ist.

Die Transfiguration einer Kurve auf Kreisnormalenkoordinaten ist daher auch ein Spezialfall der Koordinatenverwandlung von cartesischen auf Kreis-Strahlbüschelkoordinaten, oder, noch allgemeiner, ein Spezialfall der Koordinatenverwandlung von cartesischen auf A-Strahlbüschelkoordinaten. Der Vollständigkeit halber wollen wir daher auch diejenigen Formeln aufsuchen, welche diese Koordinatenverwandlung ausdrücken.

Die Aenderung des Kurvenbildes bei Transfiguration von cartesischen auf A-Strahlbüschelkoordinaten kann man sich folgendermassen vorstellen:

Denken wir uns von der Wickelkurve Γ_w die Lote auf die umwickelte Kurve A gefällt, so schneiden sich je zwei benachbarte derselben immer auf der Evolute der Kurve A. Nehmen wir nun irgendwo in der Ebene einen festen Punkt Z an und drehen die einzelnen Lote um ihren Schnittpunkt mit der Kurve A, bis sie alle durch den Punkt Z gehen, und halten wir dabei auf ihnen die einzelnen Punkte der Wickelkurve fest, so bilden nach der Drehung die einzelnen Punkte eine neue Kurve Γ_z, welche die Wickelkurve Γ_w in verzerrter Gestalt darstellt, und die wir die „A-Zerrkurve der Kurve Γ_w“ oder die „A-Zerrwickelkurve der Kurve Γ“ nennen können. Den Punkt Z wollen wir den „Zerrpunkt“ nennen.

Ein besonderer Fall von Zerrwickelkurven ist wieder derjenige, wo der Zerrpunkt ins Unendliche gerückt ist. Dieser Spezialfall soll uns hier jedoch nicht weiter beschäftigen.

Unsere Aufgabe wird also sein, die Gleichungen der A-Wickelkurven und der A-Zerrwickelkurven in cartesischen oder in Polarkoordinaten darzustellen.

§ 2. Die Wickelkurven.

In cartesischen Koordinaten sind die Kurven

$$A(x, y) = 0$$

und

$$\Gamma(x, y) = 0$$

gegeben. Die A-Wickelkurve der Kurve Γ ist dann definiert als diejenige Kurve, die in A-Normalenkoordinaten die Gleichung hat:

$$\Gamma(\sigma, \delta) = 0,$$

wobei σ die von einem festen Punkte C aus auf der Peripherie der Kurve A gemessenen Abszissen, δ die auf den Normalen gemessenen Ordinaten bedeuten.

Hat C im cartesischen System die Abszisse a, so ist

$$\sigma = \int_a^x \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx .$$

Der Punkt Q $\{x, y\}$ der Kurve A und der Punkt P $\{\xi, \eta\}$ der Kurve Γ_w haben, wenn sie beide auf derselben Normalen der Kurve A liegen, den Abstand

$$\delta = \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2},$$

wobei x, y, ξ und η noch durch die Normalengleichung der Kurve A verbunden sind:

$$(x - \xi) \cdot \frac{\partial A}{\partial y} = (y - \eta) \cdot \frac{\partial A}{\partial x}.$$

Die Gleichung der A-Wickelkurve der Kurve Γ berechnet sich demnach aus den 5 Gleichungen:

$$\begin{cases} (1) \quad A(x, y) = 0 , \\ (2) \quad (x - \xi) \cdot \dfrac{\partial A}{\partial y} = (y - \eta) \cdot \dfrac{\partial A}{\partial x} , \\ (3) \quad \sigma = \displaystyle\int_a^x \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx , \\ (4) \quad \delta = \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2} = (\eta - y)\sqrt{1 + y'^2}, \quad \text{(nach (2))} \\ (5) \quad \Gamma(\sigma, \delta) = 0 . \end{cases}$$

Der Weg bei der Aufstellung der Gleichung wäre etwa folgender: Aus (1) und (2) berechnen wir x und y, drücken also x und y als Funktion von ξ und η aus. Die erhaltenen Werte setzen wir in (3) und (4) ein und haben somit auch σ und δ als Funktion von ξ und η dargestellt. Hierauf setzen wir die so erhaltenen Werte von σ und δ in (5) ein und erhalten damit die Gleichung der A-Wickelkurve der Kurve Γ in laufenden Koordinaten ξ, η:

$$\Gamma_w(\xi, \eta) = 0 .$$

Da σ und δ wegen der auftretenden Wurzelzeichen zweideutig sind, so können wir bemerken, dass im allgemeinen von jedem Punkte der Kurve A, welcher die Abszisse a hat, 4 Zweige unserer Wickelkurve ausgehen, nämlich:

$$\begin{aligned} \Gamma(+\sigma, +\delta) &= 0, \\ \Gamma(-\sigma, +\delta) &= 0, \\ \Gamma(+\sigma, -\delta) &= 0, \\ \Gamma(-\sigma, -\delta) &= 0. \end{aligned}$$

Im ganzen besteht die Kurve Γ_w daher aus $4\,\nu$ Zweigen, wenn ν die Anzahl der Schnittpunkte der Geraden $x = a$ mit der Kurve $A(x, y) = 0$ ist.

§ 3. Die Zerrwickelkurven.

Die Gleichung der Abszissenkurve sei hier in Polarkoordinaten gegeben:

$$A(r, \varphi) = 0 .$$

Da wir von den Zerrwickelkurven mit ∞ fernem Zerrpunkt absehen wollen, so können wir, ohne die Allgemeinheit der Untersuchung zu beeinträchtigen, den Scheitel des Strahlbüschels in den Koordinatenanfang O legen.

Die A-Zerrwickelkurve der Kurve

$$\Gamma(x, y) = 0$$

ist nun definiert als diejenige Kurve, die in A-Strahlbüschelkoordinaten die Gleichung

$$\Gamma(\sigma, \delta) = 0$$

hat, wo σ die von einem festen Punkte C der Kurve A aus auf deren Peripherie gemessenen Abszissenbögen, und δ die auf den Strahlen des Strahlbüschels von der Peripherie der Kurve A aus gemessenen Ordinaten bedeuten.

Es ist, wenn C die Amplitude φ_0 hat,

$$\sigma = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{r^2 + r'^2} \cdot d\varphi .$$

Ferner ist

$$\delta = \rho - r .$$

Zur Bestimmung der Gleichung der A-Zerrwickelkurve der Kurve Γ haben wir somit die 4 Gleichungen:

$$(I) \quad \begin{cases} (1) & A(r, \varphi) = 0 , \\ (2) & \sigma = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{r^2 + r'^2} \cdot d\varphi , \\ (3) & \delta = \rho - r , \\ (4) & \Gamma(\sigma, \delta) = 0 . \end{cases}$$

Ist die Kurve A in cartesischen Koordinaten gegeben, so haben wir zur Bestimmung der Gleichung der A-Zerrwickelkurve der Kurve Γ folgende 5 Gleichungen:

$$\text{(II)}\quad \begin{cases} (1) & A(x, y) = 0, \\ (2) & x : y = \xi : \eta, \\ (3) & \sigma = \int_a^x \sqrt{1 + y'^2} \cdot dx, \\ (4) & \delta = \sqrt{(\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}, \\ (5) & \Gamma(\sigma, \delta) = 0. \end{cases}$$

Der Weg, den wir einschlagen, um die Gleichung aufzustellen, ist ganz entsprechend wie in § 2. Auch gilt von der Anzahl der Kurvenzweige dasselbe wie dort, was auch sofort klar ist nach dem, was in § 1 über die Erzeugung der Zerrwickelkurven aus den Wickelkurven gesagt ist.

Lautet die Gleichung (I, 4):

$$\delta = \gamma = \text{const.},$$

so erhalten wir die Kurven, welche man als „Konchoiden mit beliebiger Basis“ zu bezeichnen pflegt.[1]) Die Gleichung derselben ergibt sich als:

$$\text{(III)}\quad A(\rho - \gamma, \varphi) = 0.$$

§ 4. Die Wickelkurven algebraischer Kurven.

Lautet die Gleichung der Abszissenkurve

$$A(x, y) = \sum_0^n{}^{pq} \alpha_{pq} x^p y^q = 0, \qquad (p + q \leqq n),$$

so ist:

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \sum_0^n{}^{pq} p \cdot \alpha_{pq} \cdot x^{p-1} \cdot y^q,$$

$$\frac{\partial A}{\partial y} = \sum_0^n{}^{pq} q \cdot \alpha_{pq} \cdot x^p \cdot y^{q-1}.$$

Die Gleichung (2) des § 2 lautet also in diesem Falle:

$$(x - \xi) \cdot \sum_0^n{}^{pq} q \cdot \alpha_{pq} \cdot x^p y^{q-1} = (y - \eta) \cdot \sum_0^n{}^{pq} p \cdot \alpha_{pq} x^{p-1} \cdot y^q.$$

---

[1]) Ueber Konchoiden mit beliebiger Basis vergl. Loria: „Ebene Kurven“, pag. 135 ff.

Hieraus folgt durch geeignete Zusammenfassung:

$$\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ \alpha_{pq}\cdot x^{p-1}\cdot y^{q-1}\cdot\{qx\,(x-\xi)-py\,(y-\eta)\}=0\,.$$

Es ist ferner:

$$\sigma=\int_{a}^{x}\frac{\sqrt{\left(\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ p\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p-1}\cdot y^{q}\right)^2+\left(\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ q\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p}\cdot y^{q-1}\right)^2}}{\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ q\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p}\cdot y^{q-1}}\cdot dx\,.$$

Wir haben also zur Bestimmung der Gleichung der Wickelkurve die 5 Gleichungen:

$$(I)\quad\begin{cases}(1)\ \sum_{o}^{n}{}_{pq}\ \alpha_{pq}\cdot x^{p}y^{q}=0\,, & (p+q\leqq n)\,,\\ (2)\ \sum_{o}^{n}{}_{pq}\ \alpha_{pq}\cdot x^{p-1}\cdot y^{q-1}\cdot\{qx\,(x-\xi)-py\,(y-\eta)\}=0\,,\\ (3)\ \sigma=\int_{a}^{x}\frac{\sqrt{\left(\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ p\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p-1}\cdot y^{q}\right)^2+\left(\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ q\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p}\cdot y^{q-1}\right)^2}}{\sum_{o}^{n}{}_{pq}\ q\cdot\alpha_{pq}\cdot x^{p}\cdot y^{q-1}}\cdot dx\\ (4)\ \delta=\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}\,,\\ (5)\ \Gamma(\sigma,\delta)=0\,.\end{cases}$$

Lautet die Gleichung (5):

$$\delta=\gamma=\text{const.},$$

so ist die Wickelkurve eine „Parallelkurve“.[1]) Die Gleichung der Parallelkurven algebraischer Kurven stellt sich also allgemein dar durch Elimination von x und y aus den 3 Gleichungen:

$$(II)\quad\begin{cases}(1)\ \sum_{o}^{n}{}_{pq}\ \alpha_{pq}\cdot x^{p}\cdot y^{q}=0\,, & (p+q\leqq n)\,,\\ (2)\ \sum_{o}^{n}{}_{pq}\ \alpha_{pq}\cdot x^{p-1}\cdot y^{q-1}\cdot\{qx\,(x-\xi)-py\,(y-\eta)\}=0\,,\\ (3)\ \gamma=\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}\,.\end{cases}$$

[1]) Ueber Parallelkurven und ihre Geschichte vergl. A. Ahrendt: „Untersuchungen über die Parallelflächen der Flächen 2. Grades.“ (Diss. Rostock 1888), pag. 3 ff. Vergl. ferner Loria: „Ebene Kurven“. VII. Abschn. 5. Kapitel.

Die Elimination wird im allgemeinen nicht möglich sein wegen der dabei auftretenden höheren Gleichungen.

Da γ durch eine Wurzel dargestellt ist, so besteht die Parallelkurve aus zwei Zweigen, einem inneren und einem äusseren.

Noch schwieriger als aus (II) die Gleichung der Parallelkurve zu berechnen, ist es natürlich, aus (I) allgemein die Gleichung der Wickelkurve zu berechnen; denn ausser auf Gleichungen höheren Grades stossen wir dort im allgemeinen auf ein Integral, das nicht auszuführen ist. Wir müssen unsere Untersuchungen daher auf die Fälle beschränken, wo die Elimination von x und y wirklich möglich und das Integral auszuwerten ist.

Die Gerade als Abszissenkurve.

§ 5. Die Gerade als Abszissenkurve im Normalenkoordinatensystem.

Die Formeln, welche wir hier erhalten, müssen diejenigen sein, welche die Transformation eines rechtwinkligen cartesischen Koordinatensystems auf irgendein anderes rechtwinkliges cartesisches Koordinatensystem ausdrücken. Die Gerade als Abszissenkurve bietet uns also nichts neues. Der Vollständigkeit und Kontrolle halber soll die Berechnung der Formeln hier aber doch ausgeführt werden.

Die Gerade, welche Abszissenkurve sein soll, habe die Gleichung:

$$A(x, y) = \alpha x + \beta y + \gamma = 0 .$$

Hieraus folgt:

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \alpha , \quad \frac{\partial A}{\partial y} = \beta ,$$

$$y' = -\frac{\alpha}{\beta} .$$

Ferner ist:

$$\sigma = \int_a^x \sqrt{1 + \frac{\alpha^2}{\beta^2}} \cdot dx = \frac{(x - a)\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}{\beta} .$$

Die Aufgabe ist also, σ und δ als Funktion von ξ und η darzustellen aus den 4 Gleichungen:

(1) $A(x, y) = \alpha x + \beta y + \gamma = 0 ,$

(2) $(x - \xi) \cdot \beta = (y - \eta) \cdot \alpha ,$

$$(3) \quad \sigma = \frac{(x-a)\cdot\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{\beta},$$

$$(4) \quad \delta = \sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2} = (y-\eta)\cdot\frac{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{\beta}.$$

Aus (1) und (2) und (3) folgt, wenn wir die 3 Gleichungen homogen in x, y und 1 schreiben,

$$\begin{vmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \beta & -\alpha & -\beta\xi+\alpha\eta \\ \sqrt{\alpha^2+\beta^2} & 0 & -a\sqrt{\alpha^2+\beta^2}-\beta\sigma \end{vmatrix} = 0.$$

Entwickeln wir nach der letzten Zeile, so ist:

$$\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,\{\beta(\alpha\eta-\beta\xi)+\alpha\gamma\}+(a\sqrt{\alpha^2+\beta^2}+\beta\sigma)(\alpha^2+\beta^2)=0,$$

$$-\beta^2\xi+\alpha\beta\eta+\alpha\gamma+a(\alpha^2+\beta^2)+\beta\sigma\cdot\sqrt{\alpha^2+\beta^2}=0,$$

$$\sigma = -\frac{\alpha\gamma+\alpha(\alpha^2+\beta^2)}{\beta\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}+\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cdot\xi-\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cdot\eta.$$

Auf dieselbe Weise folgt aus (1) und (2) und (4):

$$\begin{vmatrix} \alpha & \beta & \gamma \\ \beta & -\alpha & -\beta\xi+\alpha\eta \\ 0 & \sqrt{\alpha^2+\beta^2} & -\eta\sqrt{\alpha^2+\beta^2}-\beta\delta \end{vmatrix} = 0.$$

Entwickeln wir nach der letzten Zeile, so ist:

$$-\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\,\{\alpha(\alpha\eta-\beta\xi)-\beta\gamma\}+(\eta\sqrt{\alpha^2+\beta^2}+\beta\delta)(\alpha^2+\beta^2)=0,$$

$$-\alpha^2\eta+\alpha\beta\xi+\beta\gamma+\eta(\alpha^2+\beta^2)+\beta\delta\cdot\sqrt{\alpha^2+\beta^2}=0,$$

$$\delta = -\frac{\gamma}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}-\frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cdot\xi-\frac{\beta}{\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}\cdot\eta.$$

Die für σ und δ erhaltenen Formeln sind aber tatsächlich die Formeln, welche bei der Transformation eines rechtwinkligen cartesischen Koordinatensystems auf ein anderes rechtwinkliges cartesisches gelten,[1]) natürlich nur bis auf die Vorzeichen von σ und δ; denn diese bleiben unbestimmt nach dem in § 2 darüber Gesagten.

§ 6. Die Gerade als Abszissenkurve im Strahlbüschelkoordinatensystem.

Nach der Definition, die wir in § 1 von den Zerrwickelkurven gegeben haben, müssen wir hier Geraden-Zerrwickelkurven er-

[1]) Vergl. Staude: „Analytische Geometrie des Punktes, der geraden Linie und der Ebene." (Leipzig u. Berlin 1905), pag. 64 u. 65.

halten. Beachten wir aber die Definition, die wir in § 1 von der Zerrkurve einer Kurve Γ gegeben haben, so ist ohne weiteres klar, dass die Geraden-Zerrwickelkurven und die Geraden-Zerrkurven sich nicht durch ihre Gestalt unterscheiden können, sondern nur durch ihre Lage im Koordinatensystem.

Die Gleichung (1) des § 5 lautet in Polarkoordinaten:

$$A = r(\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi) + \gamma = 0,$$

so dass also

$$r = \frac{-\gamma}{\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi}, \qquad r' = \frac{\gamma(\beta\cos\varphi - \alpha\sin\varphi)}{(\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi)^2}.$$

Hiermit ergibt sich:

$$\sigma = \int_{\varphi_0}^{\varphi} \frac{\gamma\sqrt{\alpha^2+\beta^2}}{(\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi)} \cdot d\varphi,$$

was nach Ausführung des Integrals ergibt:

$$\sigma = \frac{\gamma\cdot\sqrt{\alpha^2+\beta^2}\cdot\sin(\varphi-\varphi_0)}{(\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi)(\alpha\cos\varphi_0 + \beta\sin\varphi_0)}.$$

Nach Formel (I, 3) des § 3 ergibt sich ferner:

$$\delta = \rho + \frac{\gamma}{\alpha\cos\varphi + \beta\sin\varphi}.$$

Solange wir die Kurve Γ nicht spezialisieren, beeinträchtigen wir die Allgemeinheit unserer Untersuchung nicht, wenn wir der Geraden A eine spezielle Lage geben. Wir setzen daher:

$$\alpha = 0, \qquad \beta = -1.$$

Dann wird:

$$A = y - \gamma = 0,$$

$$\sigma = \frac{\gamma\cdot\sin(\varphi-\varphi_0)}{\sin\varphi\cdot\sin\varphi_0},$$

$$\delta = \rho - \frac{\gamma}{\sin\varphi}.$$

Ferner ist es, solange wir die Kurve Γ in der Ebene verschiebbar lassen, keine Spezialisierung, wenn wir φ_0 einen speziellen Wert beilegen. Wir wollen setzen:

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2},$$

und erhalten, wenn wir die Richtung von σ umkehren, um die

Richtung der Abszissengerade gleichlaufend mit der Richtung der x-Achse zu machen:

$$\begin{cases} \sigma = +\gamma \cdot \cot\varphi, \\ \delta = \rho - \dfrac{\gamma}{\sin\varphi}. \end{cases}$$

Ist die zu transfigurierende Kurve eine algebraische:

$$\Gamma(x, y) = \sum_{0}^{m}{}_{\mu\nu}\, \beta_{\mu\nu} x^\mu y^\nu = 0, \qquad (\mu + \nu \leqq m),$$

so hat die Geraden-Zerrkurve im Geraden-Strahlbüschelsystem die Gleichung:

$$\Gamma(\sigma, \delta) = \sum_{0}^{m}{}_{\mu\nu}\, \beta_{\mu\nu} x^\mu y^\nu = 0, \qquad (\mu + \nu \leqq m).$$

Setzen wir hierin die für σ und δ gefundenen Werte ein, so erhalten wir die Gleichung der Geraden-Zerrkurve in Polarkoordinaten:

$$\sum_{0}^{m}{}_{\mu\nu}\, \beta_{\mu\nu} \gamma^\mu \cot^\mu\varphi \cdot \left(\rho - \frac{\gamma}{\sin\varphi}\right)^\nu = 0.$$

Führen wir cartesische Koordinaten ein, so lautet die Gleichung:

$$\sum_{0}^{m}{}_{\mu\nu}\, \beta_{\mu\nu} \cdot \left(\frac{\gamma x}{y}\right)^\mu \cdot \left(\frac{y - \gamma}{y}\right)^\nu \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})^\nu = 0,$$

oder, als Doppelsumme geschrieben:

$$\sum_{0}^{m}{}_{\mu} \left(\frac{\gamma x}{y}\right)^\mu \sum_{0}^{m}{}_{\nu}\, \beta_{\mu\nu} \cdot \left(\frac{y - \gamma}{y}\right)^\nu \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})^\nu = 0.$$

Wenn wir die innere Summe in zwei Summen zerlegen, von denen die eine sich über die geraden, die andere über die ungeraden Zahlen ν erstreckt, so erhalten wir:

$$\sum_{0}^{m}{}_{\mu} \left(\frac{\gamma x}{y}\right)^\mu \sum_{0}^{m}{}_{2\tau}\, \beta_{\mu\nu} \cdot \left(\frac{y - \gamma}{y}\right)^{2\tau} \cdot (x^2 + y^2)^\tau$$

$$= -\sum_{0}^{m}{}_{\mu} \left(\frac{\gamma x}{y}\right)^\mu \sum_{0}^{m}{}_{2\varepsilon+1}\, \beta_{\mu\nu} \cdot \left(\frac{y - \gamma}{y}\right)^{2\varepsilon+1} \cdot (\sqrt{x^2 + y^2})^{2\varepsilon+1}.$$

Heben wir auf der rechten Seite $\sqrt{x^2 + y^2}$ aus der Doppelsumme heraus und quadrieren beide Seiten, so bekommen wir:

$$\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu}\left(\frac{\gamma x}{y}\right)^{\mu}\sum_{0}^{m}{}_{2\tau}\,\beta_{\mu\nu}\cdot\left(\frac{y-\gamma}{y}\right)^{2\tau}\cdot(x^2+y^2)^{\tau}\right\}^2$$

$$=(x^2+y^2)\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu}\left(\frac{\gamma x}{y}\right)^{\mu}\sum_{0}^{m}{}_{2\varepsilon+1}\,\beta_{\mu\nu}\cdot\left(\frac{y-\gamma}{y}\right)^{2\varepsilon+1}\cdot(x^2+y^2)^{\varepsilon}\right\}^2.$$

Heben wir rechts noch $(y-\gamma)$ aus der Doppelsumme heraus und schreiben wieder in einfacher Summenform, so ist:

$$\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu,2\tau}\,\beta_{\mu,2\tau}\cdot\left(\frac{\gamma x}{y}\right)^{\mu}\cdot\left(\frac{y-\gamma}{y}\right)^{2\tau}\cdot(x^2+y^2)^{\tau}\right\}^2$$

$$=(x^2+y^2)(y-\gamma)^2\cdot\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu,2\varepsilon+1}\,\beta_{\mu,2\varepsilon+1}\cdot\left(\frac{\gamma x}{y}\right)^{\mu}\cdot\frac{(y-\gamma)^{2\varepsilon}}{y^{2\varepsilon+1}}\cdot(x^2+y^2)^{\varepsilon}\right\}^2.$$

Multiplizieren wir schliesslich noch die Gleichung mit y^{2m}, so erhalten wir:

$$\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu,2\tau}\,\beta_{\mu,2\tau}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot(y-\gamma)^{2\tau}\cdot y^{m-(\mu+2\tau)}\cdot(x^2+y^2)^{\tau}\right\}^2$$

$$=(x^2+y^2)(y-\gamma)^2$$

$$\cdot\left\{\sum_{0}^{m}{}_{\mu,2\varepsilon+1}\,\beta_{\mu,2\varepsilon+1}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot(y-\gamma)^{2\varepsilon}\cdot y^{m-(\mu+2\varepsilon+1)}\cdot(x^2+y^2)^{\varepsilon}\right\}^2$$

(wobei $\mu+2\tau\leqq m$, $\mu+2\varepsilon+1\leqq m$).

Um die Ordnung der durch diese Gleichung dargestellten Kurve festzustellen, suchen wir die Glieder höchster Dimension auf. Unter der linken Summe beträgt die Dimension:

$$\mu+2\tau+m-(\mu+2\tau)+\tau\cdot 2=m+\tau\cdot 2.$$

Um die obere Grenze dieser Zahl aufzufinden, beachten wir, dass τ von 0 bis $\left[\frac{m}{2}\right]$ läuft, wenn wir unter $\left[\frac{m}{2}\right]$ diejenige ganze Zahl verstehen, die am nächsten unter $\frac{m}{2}$ liegt, so dass also bei geradzahligem m:

$$\left[\frac{m}{2}\right]=\frac{m}{2}$$

und bei ungeradzahligem m:

$$\left[\frac{m}{2}\right]=\frac{m-1}{2}.$$

Da τ die obere Grenze $\left[\frac{m}{2}\right]$ hat, so beträgt die obere Grenze

der Dimensionszahl unter der linken Summe unserer Gleichung:

$$m + 2 \cdot \left[\frac{m}{2}\right],$$

so dass also die linke Seite unserer Gleichung die Dimension hat:

$$2 \cdot \left(m + 2 \cdot \left[\frac{m}{2}\right]\right).$$

Die Summe auf der rechten Seite unserer Gleichung hat die Dimension:

$$\mu + 2\varepsilon + m - (\mu + 2\varepsilon + 1) + \varepsilon \cdot 2 = m - 1 + \varepsilon \cdot 2.$$

ε läuft von 0 bis $\left[\frac{m-1}{2}\right]$, so dass also die Dimension der betrachteten Summe beträgt:

$$m - 1 + 2 \cdot \left[\frac{m-1}{2}\right].$$

Die rechte Seite der Gleichung hat also die Dimension

$$2 + 2 + 2\left(m - 1 + 2 \cdot \left[\frac{m-1}{2}\right]\right) = 2\left(m + 1 + 2 \cdot \left[\frac{m-1}{2}\right]\right).$$

Die Ordnung der Kurve ist also so gross wie die grösste der beiden Zahlen

$$2\omega_1 = 2\left(m + 2 \cdot \left[\frac{m}{2}\right]\right)$$

und

$$2\omega_2 = 2\left(m + 1 + 2 \cdot \left[\frac{m-1}{2}\right]\right).$$

Sowohl bei geradem wie bei ungeradem m beträgt daher die Ordnung der Zerrkurve stets 4 m.

Um das Verhalten der Zerrkurven im Nullpunkt zu bestimmen, setzen wir

$$y = kx.$$

Dann ergibt sich:

$$\left\{\sum \beta_{\mu, 2\tau} \cdot (\gamma x)^{\mu} \cdot (kx - \gamma)^{2\tau} \cdot (kx)^{m - (\mu + 2\tau)} \cdot x^{2\tau} \cdot (1 + k^2)^{\tau}\right\}^2$$
$$= x^2 (1 + k^2)(kx - \gamma)^2 \left\{\sum \beta_{\mu, 2\varepsilon + 1} \cdot (\gamma x)^{\mu} \cdot (kx - \gamma)^{2\varepsilon} \cdot (kx)^{m - (\mu + 2\varepsilon + 1)} \cdot x^{2\varepsilon} \cdot (1 + k^2)^{\varepsilon}\right\}^2.$$

Da sich, wie ersichtlich, aus der ganzen Gleichung x^{2m} heraushebt, so ist der Koordinatenanfang stets 2 m-facher Punkt der Zerrkurve.

Um das Verhalten im Unendlichen zu bestimmen, machen wir die Gleichung der Kurve zunächst homogen:

$$\left\{\sum \beta_{\mu,2\tau}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot(y-\gamma t)^{2\tau}\cdot y^{m-(\mu+2\tau)}\cdot(x^2+y^2)^{\tau}\cdot t^{\omega_1-(2\tau+m)}\right\}^2$$
$$= (x^2+y^2)(y-\gamma t)^2\left\{\sum \beta_{\mu,2\varepsilon+1}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot(y-\gamma t)^{2\varepsilon}\right.$$
$$\left.\cdot y^{m-(\mu+2\varepsilon+1)}\cdot(x^2+y^2)^{\varepsilon}\cdot t^{\omega_2-(m+2\varepsilon+1)}\right\}^2$$

Wir müssen nun 2 Fälle unterscheiden:

1. m gerade.

In diesem Falle bekommt die ganze rechte Seite den Faktor $t^{2(\omega_1-\omega_2)}$, da $\omega_1 > \omega_2$. Setzen wir nun $t = 0$, so verschwindet die rechte Seite. Auf der linken Seite bleiben ferner nur die Glieder, wo

$$m + 2\tau = \omega_1 .$$

Es wird dann also, da $2\omega_1 = 4m$,

$$\tau = \frac{m}{2},$$

und für $t = 0$ wird daher:

$$\left\{\sum \beta_{\mu,m}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot y^{m-\mu}\cdot(x^2+y^2)^{\frac{m}{2}}\right\}^2 = 0,$$
$$(x^2+y^2)^m\cdot\left\{\sum \beta_{\mu,m}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot y^{m-\mu}\right\}^2 = 0.$$

2. m ungerade.

In diesem Falle verschwindet für $t = 0$ die linke Seite der Gleichung, da $\omega_2 > \omega_1$. Von der rechten Seite bleiben nur die Glieder, wo

$$m + 2\varepsilon + 1 = \omega_2,$$

also

$$\varepsilon = \frac{m-1}{2}.$$

Es wird also für $t = 0$:

$$(x^2+y^2)^m\cdot\left\{\sum \beta_{\mu,m}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot y^{m-\mu}\right\}^2 = 0$$

oder, da bei ungeradem m das μ nur von 0 bis $m-1$ laufen kann:

$$(x^2+y^2)^m\cdot y^2\cdot\left\{\sum \beta_{\mu,m}\cdot(\gamma x)^{\mu}\cdot y^{m-1-\mu}\right\}^2 = 0.$$

Die Zerrkurven sind also stets, sowohl wenn m gerade als wenn m ungerade ist, m-fach zirkulare Kurven. Ist m ungerade, so sind ferner mindestens zwei Asymptoten der x-Achse parallel.

m = 1. Die Geraden-Zerrgeraden.

Aus der allgemeinen Gleichung der Geraden-Zerrkurven erhalten wir für $m = 1$ die Gleichung der Zerrgeraden:

$$(\beta_{00}y + \beta_{10}\gamma x)^2 = \beta_{01}^2(x^2+y^2)(y-\gamma)^2 .$$

Diese ist die Geraden-Zerrwickelkurve der Geraden

$$\beta_{00} + \beta_{10} x + \beta_{01} y = 0 .$$

Schreiben wir letztere Gleichung in der Form

$$y = mx + b ,$$

so bedeutet $m = -\frac{\beta_{10}}{\beta_{01}}$ die Tangente des Winkels, den die Gerade mit der x-Achse bildet. $b = -\frac{\beta_{00}}{\beta_{01}}$ bedeutet den Abschnitt, den die Gerade auf der y-Achse macht.

Mit der neuen Bezeichnung lautet die Gleichung der Zerrkurve:

$$(by + m\gamma x)^2 = (x^2 + y^2)(y - \gamma)^2 .$$

Im Nullpunkt hat die Kurve einen Doppelpunkt mit den Tangenten:

$$(by + m\gamma x)^2 = \gamma^2 (x^2 + y^2) .$$

Um diese einzeln zu bestimmen, müssen wir setzen:

$$y = kx$$

und erhalten zur Bestimmung von k die Gleichung:

$$(bk + m\gamma)^2 = \gamma^2 (1 + k^2) ,$$

$$k^2 (b^2 - \gamma^2) + 2bm\gamma \cdot k + \gamma^2 (m^2 - 1) = 0 .$$

Die Diskriminante dieser Gleichung beträgt:

$$D = b^2 m^2 \gamma^2 - (b^2 - \gamma^2)\gamma^2 (m^2 - 1)$$
$$= \gamma^2 (b^2 + \gamma^2 (m^2 - 1)) .$$

Die Tangenten sind also reell und verschieden, imaginär, oder reell und gleich, je nachdem $D \gtrless 0$. Daher ist der Nullpunkt einfacher Doppelpunkt, isolierter Punkt, oder Spitze der Kurve, je nachdem

$$b^2 + \gamma^2 (m^2 - 1) \gtrless 0 ,$$

oder, in anderer Form geschrieben:

$$m^2 \gtrless 1 - \frac{b^2}{\gamma^2} .$$

Wir bekommen also für das Verhalten der Kurve im Nullpunkt folgende Tabelle:

	$b > \gamma$	$b \leqq \gamma$
Gew. Doppelpunkt	stets	$m^2 > 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$
Spitze	—	$m^2 = 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$
Isolierter Punkt	—	$m^2 < 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$

Die Gerade $y = \gamma$ schneidet die Kurve in dem Punkte

$$y_0 = \gamma, \quad x_0 = -\frac{b}{m}.$$

Dieser Punkt ist Doppelpunkt der Kurve; denn setzen wir

$$\eta = y + \gamma,$$
$$\xi = x - \frac{b}{m},$$

so lautet die Gleichung der Kurve:

$$(b\eta + m\gamma\xi)^2 = [(\xi - bm)^2 + (\eta + \gamma)^2] \cdot \eta^2.$$

Die Tangenten in dem neuen Koordinatenanfang bestimmen sich aus:

$$(b\eta + m\gamma\xi)^2 = (b^2m^2 + \gamma^2)\,\eta^2.$$

Setzen wir

$$\eta = \varkappa\xi,$$

so ergibt sich zur Bestimmung von $\varkappa$ die Gleichung:

$$(b\varkappa + m\gamma)^2 = (b^2m^2 + \gamma^2)\,\varkappa^2,$$
$$\varkappa^2(b^2 - b^2m^2 - \gamma^2) + 2bm\gamma\varkappa + m^2\gamma^2 = 0.$$

Die Diskriminante dieser Gleichung,

$$D = b^2m^2\gamma^2 - m^2\gamma^2(b^2 - b^2m^2 - \gamma^2)$$
$$= m^2\gamma^2(b^2m^2 + \gamma^2),$$

ist stets > 0; der betrachtete Punkt ist also stets gewöhnlicher Doppelpunkt. Nur wenn $m = 0$, so ist $D = 0$, und der betrachtete Punkt ist entweder eine Spitze oder ein Binodialpunkt. In unserm Falle ist der Punkt ein Binodialpunkt, da in der für $m = 0$ entstehenden Kurvengleichung

$$b^2\eta^2 = [\xi^2 + (\eta + \gamma)^2]\,\eta^2$$

η auch in den Gliedern dritter Potenz enthalten ist. Im Falle

$m = 0$ liegt der betrachtete Punkt im Unendlichen; denn seine Koordinaten waren

$$y_0 = \gamma, \qquad x_0 = -\frac{b}{m} = -\infty .$$

Im Falle $m = 0$ ist also der ∞ ferne Punkt der x-Achse Binodialpunkt.

Um auch in den übrigen Fällen das Verhalten der Kurve im Unendlichen zu untersuchen, machen wir ihre Gleichung homogen:

$$(by + m\gamma x)^2 t^2 = (x^2 + y^2)(y - \gamma t)^2 .$$

Für $t = 0$ ergibt sich:

$$(x^2 + y^2) y^2 = 0 .$$

D. h.: Die ∞ ferne Gerade schneidet die Kurve in den imaginären Kreispunkten, wie wir schon wissen, und sie hat auf der x-Achse zwei Punkte mit der Kurve gemeinsam. Um die Natur derselben zu untersuchen, setzen wir

$$y = \alpha t$$

und erhalten aus der Kurvengleichung:

$$(b\alpha t + m\gamma x)^2 t^2 = (x^2 + \alpha^2 t^2)(\alpha - \gamma) t^2 .$$

D. h.: Jede Parallele zur x-Achse schneidet die Kurve im Unendlichen in zwei Punkten.

Der ∞ ferne Punkt der x-Achse ist also stets gewöhnlicher Doppelpunkt der Kurve. Nur im Falle $m = 0$ war er, wie wir gesehen hatten, ein Binodialpunkt.

Ausser für $m = 0$ tritt noch für $m^2 = 1$ eine Merkwürdigkeit ein. In diesem Falle lautet nämlich die Gleichung der Kurve:

$$(by \pm \gamma x)^2 = (x^2 + y^2)(y - \gamma)^2 ,$$

oder, wenn wir ausmultiplizieren:

$$b^2 y^2 \pm 2b\gamma xy + \gamma^2 x^2 = (x^2 + y^2)(y^2 - 2\gamma y) + \gamma^2 x^2 + \gamma^2 y^2 ,$$
$$(b^2 - \gamma^2) y^2 \pm 2b\gamma xy - y(x^2 + y^2)(y - 2\gamma) = 0 .$$

Die C^4 zerfällt also in die C^3

$$(x^2 + y^2)(y - 2\gamma) - (b^2 - \gamma^2) y \pm 2b\gamma x = 0$$

und die x-Achse $\qquad y = 0 .$

Die C^3 geht durch den Nullpunkt und hat einen Doppelpunkt bei $\qquad y_0 = \gamma, \qquad x_0 = -b .$

Alle Geraden-Zerrgeraden sind Kurven vom Geschlecht Null, da sie die Maximalzahl von Doppelpunkten haben. Da es solche mit Spitze und solche ohne Spitze gibt, so gliedern sie sich in

zwei Abteilungen, für welche beziehungsweise die Plückerschen Zahlen[1]) die Werte annehmen:

a) $\mu = 4 \quad \delta = 3 \quad \varkappa = 0 \quad \nu = 6 \quad \iota = 6 \quad \tau = 4 \quad p = 0$

b) $\mu = 4 \quad \delta = 2 \quad \varkappa = 1 \quad \nu = 5 \quad \iota = 4 \quad \tau = 2 \quad p = 0$

Für die zerfallenden Kurven lauten die Plückerschen Zahlen:

c) $\mu = 3 \quad \delta = 1 \quad \varkappa = 0 \quad \nu = 4 \quad \iota = 3 \quad \tau = 0 \quad p = 0$

Um die Kurven zeichnen zu können, ist es noch wichtig, die Asymptoten zu kennen. Da, wie wir wissen, diese der x-Achse parallel sind, so setzen wir

$$y = c$$

in die Kurvengleichung ein und erhalten:

$$(bc + m\gamma x)^2 = (x^2 + c^2)(c - \gamma)^2.$$

c bestimmt sich also aus:

$$m^2\gamma^2 = (c - \gamma)^2$$

und beträgt also:

$$c = \gamma(1 \pm m),$$

so dass die Gleichungen der Asymptoten lauten:

$$y = \gamma(1 \pm m).$$

Die typischen Formen der Geraden-Zerrgeraden sind auf Tafel 13 gezeichnet. Fig. 1 zeigt den Fall $b > \gamma$, Fig. 2 den Fall $m^2 > 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$, Fig. 3 den Fall $m^2 = 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$ und Fig. 4 den Fall $m^2 < 1 - \frac{b^2}{\gamma^2}$. Fig. 5 endlich zeigt den Fall, wo die Kurve in eine C^3 und die x-Achse zerfällt, wo also $m^2 = 1$.

Spezialfälle der Geraden-Zerrgeraden sind die Konchoiden des Nikomedes. Wir erhalten sie für $m = 0$.

Wir wollen nun die Geraden-Zerrkurven noch unter einem anderen Gesichtspunkte betrachten. Die Kurve, welche man erhält, indem man die Radiusvectoren der Kurven $C_1\ C_2 \ldots C_\nu$ addiert, wollen wir die „Additionskurve aus den Kurven $C_1\ C_2 \ldots C_\nu$“

[1]) Salmon-Fiedler: „Analytische Geometrie der höheren ebenen Kurven“. (Leipzig 1873), pag. 75, 154 und 261.

nennen.[1]) Stellen wir die Gleichung der Geraden-Zerrgeraden in Polarkoordinaten dar, so erhalten wir:

$$r = \pm b + \frac{\gamma}{\sin\varphi} \pm m\gamma\cot\varphi .$$

Nun stellt

$$r = \pm b$$

einen Kreis,

$$r = \frac{\gamma}{\sin\varphi}$$

eine Parallele zur x-Achse im Abstande γ,

$$r = \pm m\gamma\cot\varphi$$

eine Kappakurve dar, deren Achse die x-Achse ist und deren Binodialtangente die y-Achse bildet.

Die Geraden-Zerrgerade ist demnach die Additionskurve

$$\text{Kreis} + \text{Gerade} + \text{Kappakurve}.$$

Man nennt nun die Additionskurve

$$C + \text{Kreis}$$

eine C-Konchoide, und speziell die Additionskurve

$$\text{Gerade} + \text{Kreis}$$

die Konchoide des Nikomedes.

Die Geraden-Zerrgeraden können also auch aufgefasst werden als die Additionskurven:

1. der Konchoide des Nikomedes mit der Kappakurve,
2. der Kappakonchoide mit der Geraden $y = \gamma$,
3. als Konchoide der Additionskurve Gerade + Kappakurve.

Spezialfälle der Geraden-Zerrgerade sind demnach:

1. die Gerade. Wir erhalten sie für $m = 0$, $b = 0$,
2. der Kreis. Wir erhalten ihn für $\gamma = 0$,
3. die Konchoide des Nikomedes.[2]) Wir erhalten sie für $m = 0$,

---

[1]) Eine Anwendung dieser Methode findet sich bei G. Eggers: „Ueber gewisse mit den Kegelschnitten zusammenhängende ebene Kurven höherer Ordnung.“ (Diss. Halle 1911.) Vergl. ferner: Wieleitner: „Spezielle ebene Kurven“, pag. 3. (Sammlung Schubert LVI.) Rolle: „Ueber einige von den Kegelschnitten abgeleitete Kurven höheren Grades.“ (Schulprogr. Ilmenau 1909.)

[2]) Die drei verschiedenen Formen, welche die Konchoide des Nikomedes für $b \gtrless \gamma$ annimmt, finden sich gezeichnet z. B. bei Loria: „Ebene Kurven“, Tafel IV, Fig. 27.

4. die Additionskurve der Geraden $r = \frac{\gamma}{\sin\varphi}$ mit der Kappakurve $r = m \cdot \gamma \cdot \cot\varphi$. Wir erhalten dieselbe für $b = 0$. In cartesischen Koordinaten hat diese Kurve die Gleichung:

$$(y - \gamma)^2 (x^2 + y^2) = m^2 \gamma^2 x^2 .$$

Die Fälle, welche nach der Tabelle pag. 17 möglich sind, sind auf Tafel 14 dargestellt. Fig. 1 zeigt den Fall $m^2 > 1$, Fig. 2 den Fall $m^2 < 1$, Fig. 3 den Fall $m^2 = 1$. Nach dem auf pag. 18 Gesagten zerfällt die Kurve in diesem Falle in eine C^3 und die x-Achse. Den Fall, wo der Koordinatenanfang Spitze der Kurve ist, gibt es daher bei der betrachteten Kurve nicht.

Die Kappakurve ist kein Spezialfall der Geraden-Zerrgerade, weil in der Gleichung

$$r = \pm b + \frac{\gamma}{\sin\varphi} \pm m\gamma\cot\varphi$$

der Summand $\frac{\gamma}{\sin\varphi}$ nur für $\gamma = 0$ verschwindet, dann aber gleichzeitig auch der Summand $m\gamma\cot\varphi$ verschwindet.

m = 2. Die Geraden-Zerrkegelschnitte.

Als Gleichung derselben ergibt sich aus der Formel pag. 13:

$$\{\beta_{00} y^2 + \beta_{02} (y - \gamma)^2 (x^2 + y^2) + \beta_{10} \gamma x y + \beta_{20} \gamma^2 x^2\}^2 = (x^2 + y^2) (y - \gamma)^2 (\beta_{01} y + \beta_{11} \gamma x)^2 .$$

Der erzeugende Kegelschnitt hat die Gleichung:

$$\beta_{20} x^2 + \beta_{11} xy + \beta_{02} y^2 + \beta_{10} x + \beta_{01} y + \beta_{00} = 0 .$$

Geben wir diese in der allgemein üblichen Form:

$$a_{11} x^2 + 2a_{12} xy + a_{22} y^2 + 2a_{13} x + 2a_{23} y + a_{33} = 0,$$

so hat unsere Geraden-Zerrkurve die Gleichung:

$$\{a_{33} y^2 + a_{22} (y - \gamma)^2 (x^2 + y^2) + 2a_{13} \gamma x y + a_{11} \gamma^2 x^2\}^2 = 4 (x^2 + y^2) (y - \gamma)^2 (a_{23} y + a_{12} \gamma x)^2 .$$

Die Geraden-Zerrkegelschnitte sind im allgemeinen Kurven achter Ordnung. Wir wollen diese hier nicht allgemein untersuchen, sondern nur einige Fälle herausgreifen, wo die Kurven sich auf Kurven niedrigeren Grades reduzieren. Dies tritt z. B. ein, für:

1. $a_{22} = 0$.

In diesem Falle stellt der erzeugende Kegelschnitt

$$a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0$$

eine Hyperbel dar, deren eine Asymptote der y-Achse parallel ist. Die zugehörige Zerrkurve hat die Gleichung:

$$(a_{33}y^2 + 2a_{13}\gamma xy + a_{11}\gamma^2x^2)^2 = 4(x^2 + y^2)(y - \gamma)^2(a_{23}y + a_{12}\gamma x)^2,$$

stellt also eine C^6 dar. Die Asymptoten derselben sind den Geraden

$$y = 0$$

und

$$a_{23}y + a_{12}\gamma x = 0$$

parallel.

Setzen wir $y = c$ in die Kurvengleichung ein und setzen das Aggregat der Glieder, in denen x in der höchsten Potenz vorkommt, gleich Null, so erhalten wir zur Bestimmung von c die Gleichung:

$$a_{11}^2\gamma^4x^4 = 4(c - \gamma)^2 \cdot a_{12}^2 \cdot \gamma^2x^4,$$

woraus folgt:

$$c = \gamma\left(1 \pm \frac{a_{11}}{2a_{12}}\right).$$

Das erste Asymptotenpaar hat also die Gleichung:

$$y = \gamma\left(1 \pm \frac{a_{11}}{2a_{12}}\right).$$

Zur Bestimmung des zweiten Paares setzen wir:

$$a_{23}y + a_{12}\gamma x = c$$

und setzen

$$y = \frac{c - a_{12}\gamma x}{a_{23}}$$

in die Gleichung der Kurve ein. Wir erhalten dann zur Bestimmung von c die Gleichung:

$$\left(a_{33}\frac{a_{12}^2\gamma^2x^2}{a_{23}^2} - 2a_{13}\gamma\frac{a_{12}\gamma x^2}{a_{23}} + a_{11}\gamma^2x^2\right)^2 = 4\left(x^2 + \frac{a_{12}^2\gamma^2x^2}{a_{23}^2}\right) \cdot \frac{a_{12}^2\gamma^2x^2}{a_{23}^2} \cdot c^2.$$

Hieraus folgt:

$$\left(\frac{a_{33}a_{12}^2 - 2a_{13}a_{12}a_{23} + a_{11}a_{23}^2}{a_{23}^2}\right)^2 = 4 \cdot \frac{a_{23}^2 + a_{12}^2\gamma^2}{a_{23}^4} \cdot a_{12}^2 \cdot c^2,$$

$$c = \frac{\pm(a_{33}a_{12}^2 - 2a_{13}a_{12}a_{23} + a_{11}a_{23}^2)}{2a_{12}\sqrt{a_{23}^2 + a_{12}^2\gamma^2}} = \frac{\pm\Delta}{2a_{12}\sqrt{a_{23}^2 + a_{12}^2\gamma^2}},$$

wobei wir unter Δ die Determinante unseres Kegelschnittes verstehen.

Das zweite Asymptotenpaar hat also die Gleichung:

$$a_{23}y + a_{12}\gamma x = \frac{\pm\Delta}{2a_{12}\sqrt{a_{23}^2 + a_{12}^2\gamma^2}}.$$

Wir können nun leicht das Geschlecht unserer Kurve bestimmen. Da der Koordinatenanfang vierfacher Kurvenpunkt ist, so entspricht er 6 Doppelpunkten. Im Unendlichen hat die Kurve in der Richtung der beiden Asymptotenpaare je einen Doppelpunkt. Im Endlichen hat die Kurve ferner noch je einen Doppelpunkt in den beiden Schnittpunkten der Geraden $y = \gamma$ mit der um die Strecke $+\gamma$ parallel zur y-Achse verschobenen erzeugenden Hyperbel, wie sofort aus der Konstruktion klar ist. Die Anzahl der Doppelpunkte ist also $6 + 2 + 2 = 10$. Dies ist aber für eine C^6 gerade die Maximalzahl. Unsere Kurve hat daher das Geschlecht $p = 0$.

Der Verlauf der Kurve ist auf Tafel 15, Fig. 1 dargestellt und zwar für denjenigen Fall, wo die Kurve im Anfangspunkt zwei reelle und zwei imaginäre Tangenten hat.

Ist ausser $a_{22} = 0$ auch noch $a_{12} = 0$, so ist der erzeugende Kegelschnitt die Parabel:

$$a_{11}x^2 + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0,$$

also eine Parabel, deren Hauptachse der y-Achse parallel ist. Die zugehörige Zerrkurve hat die Gleichung:

$$(a_{33}y^2 + 2a_{13}\gamma xy + a_{11}\gamma^2x^2)^2 = 4(x^2 + y^2)(y - \gamma)^2 \cdot a_{23}^2y^2.$$

Sie hat im Koordinatenanfang einen 4fachen Punkt, ferner im Endlichen noch zwei weitere Doppelpunkte, ebenso wie die zuletzt betrachtete Hyperbel. Die ∞ ferne Gerade ist Binodialtangente der Kurve im ∞ fernen Punkte der x-Achse.

Die Kurve hat daher $6 + 2 + 2 = 10$ Doppelpunkte, ist also auch vom Geschlecht $p = 0$. Der Verlauf der Kurve ist auf Tafel 15, Fig. 2 gezeichnet. Die Kurve besitzt keine Asymptoten.

2. $a_{11} = -a_{22}$; $\quad a_{12} = 0$.

In diesem Falle ist der erzeugende Kegelschnitt eine gleichseitige Hyperbel, deren Achsen den Koordinatenachsen parallel sind. Die Zerrkurve zerfällt in die Doppelgerade $y = 0$ und die C^6

$$\{a_{33}y + a_{22}(y - 2\gamma)(x^2 + y^2) + a_{22}\gamma^2y + 2a_{13}\gamma x\}^2 = 4a_{23}^2(x^2 + y^2)(y - \gamma)^2.$$

Diese hat die Gerade $y = 2\gamma$ als Asymptote und zeigt den Verlauf, der auf Tafel 15, Fig. 3 angegeben ist.

3. $a_{12} = 0$; $a_{23} = 0$.

Der erzeugende Kegelschnitt hat die Gleichung:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{13}x + a_{33} = 0.$$

Die eine Achse desselben ist also die x-Achse.

Die zugehörige Zerrkurve ist eine C^4 von der Gleichung:

$$a_{33}y^2 + a_{22}(y - \gamma)^2(x^2 + y^2) + 2a_{13}\gamma xy + a_{11}\gamma^2x^2 = 0.$$

Diese hat einen Doppelpunkt im Koordinatenanfang und einen zweiten im Unendlichen in der Richtung der Geraden $y = \gamma$, welche Asymptote ist, wenn der Kegelschnitt eine Parabel ist (Tafel 16, Fig. 3). Ist der Kegelschnitt eine Ellipse oder Hyperbel, so sind die Asymptoten die Geraden:

$$y = \gamma\left(1 \pm \sqrt{\frac{-a_{11}}{a_{22}}}\right).$$

Tafel 16, Fig. 1, 2 zeigt den Verlauf der Kurve, wenn der erzeugende Kegelschnitt eine Hyperbel ist, Fig. 3, wenn sie eine Parabel ($a_{11} = 0$), Fig. 4, wenn sie eine Ellipse ist.

Ist der erzeugende Kegelschnitt eine gleichseitige Hyperbel, deren eine Achse mit der x-Achse zusammenfällt, ist also ausser $a_{12} = 0$, $a_{23} = 0$ noch $a_{11} = -a_{22}$, so zerfällt die Zerrkurve in die Gerade $y = 0$ und die C^3

$$a_{33}y + a_{22}(y - 2\gamma)(x^2 + y^2) + a_{22}\gamma^2y + 2a_{13}\gamma x = 0,$$

deren Verlauf auf Tafel 16, Fig. 5 dargestellt ist. Die Kurve geht aus der auf Tafel 15, Fig. 3 gezeichneten hervor, indem die beiden Ovale und ebenso die sich ins Unendliche erstreckenden Züge zusammenfallen.

Die Kegelschnitte als Abszissenkurven.

§ 7. Die Kegelschnitte als Abszissenkurven im Normalenkoordinatensystem.

Die Gestalt der Wickelkurven, welche wir hier erhalten, ist ganz unabhängig von der Lage der Abszissenkurve, da einer Drehung oder Verschiebung derselben auch eine Drehung oder Verschiebung der Wickelkurve entspricht. Wir können daher die Gleichung des Kegelschnitts in Mittelpunktskoordinaten zugrunde

legen. Trotzdem aber wird die Elimination von x und y recht schwierig, und bei der Ellipse und Hyperbel wird das Integral für σ ein elliptisches.

Auch für die Parabel ist die Elimination noch mit der Lösung einer Gleichung 3. Grades verknüpft. Wir wollen diesen Fall betrachten. Die Parabel

$$A = y^2 - 2px = 0$$

sei Abszissenkurve. Dann ist

$$\frac{\partial A}{\partial x} = -2p, \quad \frac{\partial A}{\partial y} = 2y,$$

also:

$$\sigma = \int_a^x \sqrt{1 + \frac{p^2}{y^2}} \cdot dx = \int_a^x \sqrt{\frac{p + 2x}{2x}} \cdot dx,$$

was nach Ausführung des Integrals ergibt:

$$\sigma = \frac{1}{2}\left(\sqrt{2x\,(p + 2x)} - \sqrt{2a\,(p + 2a)} + p \cdot \log \frac{\sqrt{2x} + \sqrt{p + 2x}}{\sqrt{2a} + \sqrt{p + 2a}}\right).$$

Zur Bestimmung der Gleichung der Parabel-Wickelkurve der Kurve Γ haben wir also die 5 Gleichungen:

$$\begin{cases} (1)\ y^2 - 2px = 0, \\ (2)\ (x - \xi)\,y + (y - \eta)\,p = 0, \\ (3)\ \sigma = \frac{1}{2}\left(\sqrt{2x\,(p + 2x)} - \sqrt{2a\,(p + 2a)} + p \cdot \log \frac{\sqrt{2x} + \sqrt{p + 2x}}{\sqrt{2a} + \sqrt{p + 2a}}\right), \\ (4)\ \delta = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}, \\ (5)\ \Gamma(\sigma, \delta) = 0. \end{cases}$$

Eliminiert man x aus (1) und (2), so erhält man:

$$y^3 - 2p\,(\xi - p)\,y - 2p^2\eta = 0,$$

$$y = \sqrt[3]{p^2\eta + p\sqrt{p^2\eta^2 + \frac{8}{27}p\,(p - \xi)^3}} + \sqrt[3]{p^2\eta - p\sqrt{p^2\eta^2 + \frac{8}{27}p\,(p - \xi)^3}}.$$

x würde sich dann etwa berechnen aus (1):

$$x = \frac{y^2}{2p}.$$

Wir sind somit imstande, σ und δ als Funktion von ξ und η darzustellen, können nun also die Gleichung jeder Parabel-

Wickelkurve aufstellen. Diese Kurven sind alle transzendent, da δ eine algebraische und σ eine transzendente Funktion ist. Nur wenn σ gar nicht in der Funktion Γ vorkommt, so ist die Wickelkurve algebraisch. Wenn aber σ nicht in Γ vorkommt, so ist:

$$\Gamma = \delta - \gamma = 0 .$$

Die Gleichung der Parallelkurve der Parabel berechnet sich also aus den Gleichungen:

$$\begin{cases} y^2 - 2px = 0 , \\ (x - \xi)\, y + (y - \eta)\, p = 0 , \\ \gamma = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} . \end{cases}$$

Ganz analog würde sich die Gleichung der Parallelkurve der Ellipse ergeben aus:

$$\begin{cases} \dfrac{x^2}{a^2} + \dfrac{y^2}{b^2} = 1 , \\ \dfrac{(x - \xi)\, y}{b^2} - \dfrac{(y - \eta)\, x}{a^2} = 0 , \\ \gamma = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} . \end{cases}$$

und die der Hyperbel aus:

$$\begin{cases} \dfrac{x^2}{a^2} - \dfrac{y^2}{b^2} = 1 , \\ \dfrac{(x - \xi)\, y}{b^2} + \dfrac{(y - \eta)\, x}{a^2} = 0 , \\ \gamma = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2} . \end{cases}$$

Die Parallelkurven der Kegelschnitte, welche Breton[1]) Toroïden genannt hat, sind untersucht von Cayley[2]) und Roberts[3]). Sie sind Kurven 8. Ordnung.

§ 8. Die Kegelschnitte als Abszissenkurven im Strahlbüschelkoordinatensystem.

Wir wollen hier nur den Fall betrachten, wo der als Abszissenkurve dienende Kegelschnitt in Mittelpunktskoordinaten gegeben ist. Nur den Kreis wollen wir allgemeiner betrachten.

---

[1]) Nouvelles Annales de Mathématiques, Tome III, 1844. Hier wird nur die Toroïde der Ellipse behandelt.

[2]) Quarterly Journal XI.

[3]) Quarterly Journal XII.

I. Ellipse und Hyperbel als Abszissenkurve.

Aus:

$$(1) \qquad A = \frac{x^2}{a^2} \pm \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$$

folgt:

$$\frac{\partial A}{\partial x} = \frac{2x}{a^2}, \qquad \frac{\partial A}{\partial y} = \pm \frac{2y}{b^2}.$$

Folglich wird:

$$(2) \qquad \sigma = \frac{1}{a} \int_a^x \sqrt{\frac{a^4 - e^2 x^2}{a^2 - x^2}} \cdot dx,$$

wo

$$e^2 = a^2 \mp b^2.$$

Ferner berechnet sich:

$$(3) \qquad y = \frac{\eta}{\sqrt{\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}}}, \qquad x = \frac{\xi}{\sqrt{\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}}}$$

und hiermit:

$$(4) \qquad \delta = \frac{\sqrt{\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}} - 1}{\sqrt{\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}}} \cdot \sqrt{\xi^2 + \eta^2}.$$

Wir können das elliptische Integral (2) durch Reihenentwicklung integrieren und dann durch (3) σ als Funktion von ξ und η darstellen. Dann sind wir imstande, die Gleichungen der Zerrwickelkurven auf der Ellipse und Hyperbel anzugeben. Sie sind alle transzendent, da σ transzendent ist. Nur wenn σ in der Funktion Γ nicht vorkommt, so sind sie algebraisch. Dann ist aber:

$$\Gamma = \delta - \gamma = 0,$$

und wir erhalten die Mittelpunktskonchoiden der Ellipse und Hyperbel:

$$4\left(\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}\right)(\xi^2 + \eta^2)^2 = \left[\xi^2 + \eta^2 + \left(\frac{\xi^2}{a^2} \pm \frac{\eta^2}{b^2}\right)(\xi^2 + \eta^2 - \gamma^2)\right]^2.$$

Ebenso wie die Parallelkurven sind diese auch Kurven 8. Ordnung.

II. Die Parabel als Abszissenkurve.

$$(1) \qquad A = y^2 - 2px = 0.$$

Es ist nach § 7 (3):

$$\sigma = \frac{1}{2}\left(\sqrt{2x\,(p+2x)} - \sqrt{2a\,(p+2a)} + p\cdot\log\frac{\sqrt{2x}+\sqrt{p+2x}}{\sqrt{2a}+\sqrt{p+2a}}\right).$$

Mit der Beziehung

$$\xi : \eta = x : y$$

folgt aus (1):

$$(2) \qquad y = 2p\cdot\frac{\xi}{\eta}, \qquad x = 2p\cdot\frac{\xi^2}{\eta^2},$$

und hiermit:

$$\delta = \frac{\eta^2 - 2p\xi}{\eta^2}\sqrt{\xi^2+\eta^2}.$$

Ferner ergibt sich mit (2):

$$\sigma = \frac{p\xi}{\eta^2}\sqrt{4\xi^2+\eta^2} - \frac{1}{2}\sqrt{2a\,(p+2a)} + \frac{p}{2}\cdot\log\frac{2\xi+\sqrt{4\xi^2+\eta^2}}{\sqrt{2a}+\sqrt{p+2a}} + \frac{p}{4}\log p - \frac{p}{2}\log\eta.$$

Wir können nunmehr die Gleichungen aller Zerrwickelkurven auf der Parabel (1) angeben. Sie sind alle transzendent, da σ transzendent. Nur wenn

$$\Gamma = \sigma - \gamma = 0$$

ist, so sind sie algebraisch. Wir erhalten dann die Scheitelkonchoide der Parabel, eine C^6 mit der Gleichung:

$$\gamma^2\eta^4 = (\eta^2 - 2p\xi)^2\,(\xi^2+\eta^2).$$

III. Der Kreis als Abszissenkurve.

Ohne zu spezialisieren, können wir den Kreis

$$A = (x - c)^2 + y^2 - a^2 = 0$$

als Abszissenkurve nehmen. In Polarkoordinaten lautet seine Gleichung:

$$r^2 - 2rc\cos\varphi - a^2 + c^2 = 0$$

und es ergibt sich:

$$\sigma = \int_{\varphi_0}^{\varphi}\sqrt{r^2+r'^2}\cdot d\varphi = a\cdot\left[\varphi + \arcsin\left(\frac{c}{a}\sin\varphi\right)\right],$$

wobei wir dahin spezialisiert haben, dass wir $\varphi_0 = 0$ setzten.

Es ergibt sich ferner:

$$\delta = \rho - r = \rho - (c\cos\varphi + \sqrt{a^2 - c^2\sin^2\varphi}).$$

Die Kreis-Zerrwickelkurve der Kurve Γ ist demnach:

$$\Gamma\left(a\cdot\left[\varphi+\arcsin\left(\frac{c}{a}\sin\varphi\right)\right],\ \left[\rho-c\cdot\cos\varphi-\sqrt{a^2-c^2\sin^2\varphi}\right]\right)=0\,.$$

Hierbei sind $\sqrt{a^2-c^2\sin^2\varphi}$ und $\arcsin\left(\frac{c}{a}\sin\varphi\right)$ nur dann reell, wenn

$$\left|\sin\varphi\right|\leqq\left|\frac{a}{c}\right|.$$

Diese Bedingung ist stets erfüllt, wenn

$$|a|\geqq|c|,$$

wenn also der Scheitel des Strahlbüschels innerhalb des Abszissenkreises oder auf seinem Umfange liegt. In diesem Falle gehören also zu jedem φ reelle Kurvenpunkte.

Ist aber

$$|a|<|c|,$$

so gehören nur zu solchen Werten von φ reelle Kurvenpunkte, für welche

$$\left|\sin\varphi\right|\leqq\left|\frac{a}{c}\right|.$$

Im Grenzfalle ist

$$\pm\sin\varphi=\frac{a}{c};$$

D. h.: Die Kurve verläuft ganz zwischen den beiden Tangenten, die man von dem Zerrpunkt an den Abszissenkreis legen kann.

Die Kreis-Zerrwickelkurve der Geraden

$$y-\alpha x-b=0$$

z. B. ist:

$$\rho=c\cdot\cos\varphi+\sqrt{a^2-c^2\sin^2\varphi}+a\alpha\cdot\left[\varphi+\arcsin\left(\frac{c}{a}\sin\varphi\right)\right]+b\,.$$

Diese Kurve verläuft also ganz zwischen den beiden Geraden:

$$\varphi=\pm\arcsin\frac{a}{c}\,,$$

und zwar sind diese beiden Geraden Tangenten der Kurve; denn für $\pm\sin\varphi=\frac{a}{c}$ verschwindet in ρ die Quadratwurzel. Auf den beiden Geraden fallen also zwei Werte ρ zusammen. Da ρ wegen des auftretenden arcsin vieldeutig ist um $2h\pi\cdot a\alpha$, so berühren die beiden Geraden die Kurve ∞ oft.

Anders ist es, wenn $|a| > |c|$. Dann gehören zu jedem Werte φ unendlich viele Werte ρ. In diesem Falle erhalten wir daher Kurven, die sich spiralförmig um den Abszissenkreis herumwinden.

Für $a = \pm c$, $\alpha = 0$ erhalten wir die Pascalsche Schnecke:

$$(x^2 + y^2 - 2cx) = (x^2 + y^2) \cdot b^2 .$$

Die Kreiswickelkurven.

§ 9. Die Kreiswickelkurven algebraischer Kurven.

Die Kreiswickelkurven sind ein Spezialfall der Kreis-Zerrwickelkurven; denn man kann sie auffassen als Zerrwickelkurven, deren Zerrpunkt mit dem Mittelpunkt des Abszissenkreises zusammenfällt. Wir erhalten daher ihre Gleichung, wenn wir in den Formeln für die Zerrwickelkurven $c = 0$ setzen. Die Gleichung der Kreiswickelkurve der Kurve

$$(1) \qquad f(x, y) = 0$$

lautet daher:

$$f(a\varphi,\ \rho - a) = 0 .$$

Ist (1) eine algebraische Kurve:

$$\sum_{0}^{n\,pq} \alpha_{pq} x^p y^q = 0 , \qquad (p + q \leq n) ,$$

so lautet also die Gleichung der Kreiswickelkurve:

$$\sum_{0}^{n\,pq} \alpha_{pq} (a\varphi)^p \cdot (\rho - a)^q = 0 ,$$

oder, wenn wir $(\rho - a)^q$ nach dem binomischen Lehrsatz entwickeln:

$$\sum_{0}^{n\,pq} \alpha_{pq} (a\varphi)^p \cdot \sum_{0}^{q\,m} \binom{q}{m} (-a)^m \cdot \rho^{q-m} = 0 ,$$

$$\sum_{0}^{m\,pq} \sum_{0}^{q\,m} \alpha_{pq} \cdot (-1)^m \cdot \binom{q}{m} \cdot a^{m+p} \cdot \varphi^p \cdot \rho^{q-m} = 0 .$$

Die Kreiswickelkurven sind Konchoiden derjenigen Kurven, die man bei Transfiguration von rechtwinkligen cartesischen auf Polarkoordinaten erhält.[1])

[1]) Die letzteren Kurven sind zuerst untersucht von Varignon („Nouvelle formation de spirales etc.“).

Vergl. dazu Loria: „Ebene Kurven“, pag. 595.

Die Kreiswickelkurve der Geraden

$$y - \alpha x - b = 0$$

ist z. B.:

$$\rho = a + b + a\alpha\varphi = a\alpha\left(\varphi + \frac{a+b}{a\alpha}\right),$$

also eine Archimedische Spirale.

Auf die Kreiswickelkurven der algebraischen Kurven wollen wir hier nicht näher eingehen, sondern uns gleich zu den Kreiswickelkurven der trigonometrischen Linien wenden.

§ 10. Die Kreiswickelkurven der trigonometrischen Linien.

Die Gleichung der trigonometrischen Linien ist in rechtwinkligen cartesischen Koordinaten:

$$y - r \cdot \Theta\left(\frac{x}{r}\right) = 0,$$

wo Θ eine trigonometrische Funktion bedeutet.

Die Gleichung ihrer Kreiswickelkurve ist daher, wenn der Abszissenkreis den Radius r hat:

$$\rho - r - r \cdot \Theta\left(\frac{r\varphi}{r}\right) = 0$$

oder, setzen wir $\frac{r}{r} = n$:

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{n}\Theta\,(n\varphi)\right).$$

Die Kurven, welche durch diese Funktion dargestellt sind, sind nur unter gewissen Bedingungen geschlossene Kurven.

Gehört zu einem Wert φ_1 der Wert ρ_1, so ist

$$\rho_1 = r\left(1 + \frac{1}{n}\Theta\,(n\varphi_1)\right).$$

Wenn nach h Umläufen von diesem Punkte aus der Wert ρ_2 erreicht wird, so ist

$$\rho_2 = r\left(1 + \frac{1}{n}\Theta n\,(\varphi_1 + 2\pi \cdot h)\right),$$

und es ist nur dann und immer dann $\rho_2 = \rho_1$, wenn

$$\Theta\,(n\varphi_1) = \Theta\,(n\varphi_1 + 2\pi \cdot nh).$$

Dazu ist aber notwendig und hinreichend, dass $n \cdot h$ eine ganze Zahl sei; denn Θ hat die Periode 2π. Soll $n \cdot h$ eine ganze Zahl sein, so muss n eine rationale Zahl sein; denn h ist eine ganze

Zahl. Ist $n = \frac{\mu}{\nu}$, wo μ und ν relativ prim sind, so muss also $\frac{\mu \cdot h}{\nu}$ eine ganze Zahl sein. Dies ist der Fall, wenn

$$h = m\nu, \qquad (m = 1, 2, 3 \ldots).$$

Nach ν Umläufen wird also stets wieder derselbe Kurvenpunkt erreicht.

Die Kreiswickelkurven sind also immer dann und nur dann geschlossene Kurven, wenn der Radius des Abszissenkreises zu dem Parameter der trigonometrischen Linie in rationalem Verhältnis steht. Ist das Verhältnis irrational, so windet sich die Wickelkurve ∞ oft um den Kreis herum, ohne sich jemals zu schliessen.

Ein entsprechender Satz, wie wir ihn hier für die Kreiswickelkurven der trigonometrischen Linien bewiesen haben, gilt übrigens ganz allgemein für die Wickelkurven und Zerrwickelkurven von periodischen Kurven. Der Beweis mag hier noch nachgefügt werden.

Es sei Θ_λ eine trigonometrische Funktion. Ist die Abszissenkurve eine geschlossene algebraische Kurve, so lässt A sich als Funktion von Θ_λ darstellen, und damit auch:

$$\delta = \delta\left(\rho, \Theta_\lambda\right).$$

Die erzeugende Kurve habe nun die Gleichung:

$$y = \Phi(x),$$

wo Φ eine Funktion mit der Periode P sei. Die A-Wickelkurve bezw. A-Zerrwickelkurve dieser Kurve hat dann eine Gleichung von der Form:

$$\delta\left(\rho, \Theta_\lambda(\varphi)\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi} \sqrt{r^2 + r'^2}\, d\varphi\right).$$

Gehört zu einem Werte φ_1 der Wert ρ_1, so ist:

$$\delta\left(\rho_1, \Theta_\lambda(\varphi_1)\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}\right).$$

Wenn nach h Umläufen von diesem Punkte aus der Wert ρ_2 erreicht wird, so ist:

$$\delta\left(\rho_2, \Theta_\lambda(\varphi_1 + 2h\pi)\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1 + 2h\pi}\right),$$

$$\delta\left(\rho_2, \Theta_\lambda(\varphi_1)\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} + \int_{\varphi_1}^{\varphi_1 + 2h\pi}\right).$$

Nun ist aber, wenn U der Umfang der Abszissenkurve ist:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_1 + 2h\pi} = h \cdot U,$$

so dass also:

$$\delta\left(\rho_2, \Theta_\lambda(\varphi_1)\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} + h \cdot U\right).$$

Wie ersichtlich, wird $\rho_2 = \rho_1$, wenn

$$\Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1} + h \cdot U\right) = \Phi\left(\int_{\varphi_0}^{\varphi_1}\right).$$

Dies ist immer dann und nur dann der Fall, wenn $h \cdot U = P \cdot \frac{hU}{P}$ ein ganzes Vielfaches von P ist, wenn also $\frac{h \cdot U}{P}$ eine ganze Zahl ist. Da h eine ganze Zahl ist, so ist erforderlich, dass $\frac{U}{P}$ eine rationale Zahl sei. Ist $\frac{U}{P} = \frac{\mu}{\nu}$, wo μ und ν relativ prim, so muss also $\frac{\mu \cdot h}{\nu}$ eine ganze Zahl sein. Dies ist der Fall, wenn

$$h = m\nu, \qquad (m = 1, 2, 3 \ldots).$$

Nach ν Umläufen wird also stets wieder derselbe Punkt erreicht.

Die Wickelkurven und Zerrwickelkurven sind also immer dann und nur dann geschlossene Kurven, wenn der Umfang der Abszissenkurve in rationalem Verhältnis steht zu der Periode der erzeugenden Kurve.

I. Die Kreiswickelkurven der Sinuslinie.

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{n}\sin n\varphi\right).$$

Alle diese Kurven sind Konchoiden der Rhodoneen[1])

$$\rho = \frac{r}{n}\sin n\varphi.$$

[1]) Ueber Rhodoneen cf. Loria: „Ebene Kurven", V. Abschnitt, 8. Kapitel und die daselbst angeführte Literatur.

Einige Kreiswickelkurven der Sinuslinie sind auf Tafel 17 gezeichnet.

$\underline{n = 1}$

$$\rho = r(1 + \sin\varphi),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{y}{\rho}\right),$$

$$(\rho^2 - ry)^2 = r^2\rho^2,$$

$$(x^2 + y^2 - ry)^2 = r^2(x^2 + y^2).$$

Diese Gleichung stellt die bekannte Kardioide dar.

$\underline{n = 2}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{2}\sin 2\varphi\right),$$

$$\rho = r(1 + \sin\varphi\cos\varphi) = r\left(1 + \frac{y}{\rho}\cdot\frac{x}{\rho}\right),$$

$$\rho^3 = r^2(\rho^2 + xy),$$

$$(x^2 + y^2)^3 = r^2(x^2 + y^2 + xy)^2.$$

Diese C^6 ist die Konchoide der vierblättrigen Rhodonee. Sie hat im Koordinatenanfang einen vierfachen isolierten Punkt, in welchem die Geraden

$$x = \omega_1 y$$

$$x = \omega_2 y \qquad (\omega = \text{imaginäre dritte Einheitswurzeln})$$

Binodialtangenten sind. Die Kurve ist auf Tafel 17, Fig. 1 gezeichnet.

$\underline{n = 3}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3}\sin 3\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3}(3\sin\varphi - 4\sin^3\varphi)\right) = r\left(1 + \frac{y}{\rho} - \frac{4}{3}\frac{y^3}{\rho^3}\right),$$

$$\rho^4 = r\left(\rho^3 + y\rho^2 - \frac{4}{3}y^3\right) = r\left(\rho^3 + yx^2 - \frac{1}{3}y^3\right),$$

$$r^2(x^2 + y^2)^3 = \left[(x^2 + y^2)^2 + ry\left(\frac{y^2}{3} - x^2\right)\right]^2.$$

Diese C^8, welche die Konchoide der dreiblättrigen Rhodonee ist, findet sich auf Tafel 17, Fig. 2 dargestellt. Der Koordinatenanfang ist sechsfacher isolierter Kurvenpunkt.

$\underline{n = 4}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{4}\sin 4\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{4}(4\sin\varphi\cos\varphi - 8\sin^3\varphi\cos\varphi)\right)$$

$$= r\left(1 + \frac{y}{\rho}\cdot\frac{x}{\rho} - 2\frac{y^3}{\rho^3}\cdot\frac{x}{\rho}\right),$$

$$\rho^5 = r(\rho^4 + xy\rho^2 - 2xy^3),$$

$$(x^2 + y^2)^5 = r^2[(x^2 + y^2)^2 + xy(x^2 - y^2)]^2.$$

Diese C^{10} ist die Konchoide der 8blättrigen Rhodonee. Sie findet sich auf Tafel 17, Fig. 3 dargestellt. Der Koordinatenanfang ist 8facher isolierter Kurvenpunkt.

$\underline{n = \frac{1}{2}}$

$$\rho = r\left(1 + 2\sin\frac{1}{2}\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + 2\sqrt{\frac{1 - \cos\varphi}{2}}\right) = r\left(1 + 2\sqrt{\frac{\rho - x}{2\rho}}\right),$$

$$\rho^2 - 2r\rho + r^2 = \frac{2(\rho - x)r^2}{\rho},$$

$$\rho^3 - 2r\rho^2 + r^2\rho = 2r^2\rho - 2r^2x,$$

$$\rho(\rho^2 - r^2) = 2r(\rho^2 - rx),$$

$$(x^2 + y^2)(x^2 + y^2 - r^2)^2 = 4r^2(x^2 + y^2 - rx)^2.$$

Diese C^6 ist die Konchoide der Rosenkurve 6. Ordnung[1]). Der Koordinatenanfang ist Doppelpunkt. Die Tangenten in demselben bestimmen sich aus:

$$r^4(x^2 + y^2) = 4x^2r^4,$$

$$y^2 - 3x^2 = 0,$$

haben also die Gleichung:

$$y = \pm\sqrt{3}\cdot x.$$

Der Punkt ($x = r$, $y = 0$) ist dreifacher Kurvenpunkt; denn machen wir die Koordinatenverschiebung

$$x = \xi + r, \qquad y = \eta,$$

so kommt als Gleichung der Kurve:

$$(\xi^2 + 2r\xi + \eta^2 + r^2)(\xi^2 + 2r\xi + \eta^2)^2 = 4r^2(\xi^2 + r\xi + \eta^2)^2.$$

[1]) cf. Loria: „Ebene Kurven." Tafel XI, Fig. 76.

Die Tangenten in dem neuen Koordinatenanfang ergeben sich aus dem Aggregat der Glieder niedrigster Potenz. Dieses ist die dritte; denn die Glieder zweiter Potenz $4r^4\xi^2$ heben sich aus der Gleichung fort. Wir erhalten also ein Tangententripel:

$$\xi^3 - \xi\eta^2 = 0 .$$

Die Tangenten in dem betrachteten Punkte sind also:

$$\xi = 0 , \qquad \xi + \eta = 0 , \qquad \xi - \eta = 0 .$$

Der Verlauf der Kurve ist auf Tafel 17, Fig. 4 dargestellt.

II. Die Kreiswickelkurven der Tangenslinie.

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{n} \operatorname{tg} n\varphi\right).$$

Alle diese Kurven sind Konchoiden der Knotenkurven [1])

$$\rho = \frac{r}{n} \operatorname{tg} n\varphi .$$

Einige Kreiswickelkurven der Tangenslinie sind auf Tafel 18 gezeichnet.

$\underline{n = 1}$

$$\rho = r(1 + \operatorname{tg}\varphi) ,$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{y}{x}\right) ,$$

$$x^2(x^2 + y^2) = r^2(x + y)^2 .$$

Diese C^4 ist die Konchoide der Kappakurve $\rho = r\operatorname{tg}\varphi$.

Sie ist selber eine projektive Kappakurve; denn sie besitzt einen Binodialpunkt und einen einfachen Doppelpunkt. Der Koordinatenanfang ist nämlich Binodialpunkt mit der Binodialtangente:

$$x + y = 0 .$$

Der ∞ ferne Punkt der y-Achse ist gewöhnlicher Doppelpunkt. Die Asymptoten sind:

$$y = \pm r .$$

Die Kurve ist auf Tafel 18, Fig. 1 gezeichnet.

$\underline{n = 2}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{2} \operatorname{tg} 2\varphi\right),$$

[1]) Ueber Knotenkurven cf. Loria: „Ebene Kurven", pag. 184.

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2\,\mathrm{tg}\,\varphi}{1 - \mathrm{tg}^2\varphi}\right) = r\left(1 + \frac{\frac{y}{x}}{1 - \frac{y^2}{x^2}}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{xy}{x^2 - y^2}\right),$$

$$(x^2 + y^2)\,(x^2 - y^2)^2 = r^2\,(x^2 - y^2 + xy)^2\,.$$

Diese C^6 ist Konchoide der sog. „Windmühle“ [1]). Im Koordinatenanfang hat sie einen achtfachen Punkt, in welchem die beiden Geraden

$$y = \frac{1}{2}(1 \pm \sqrt{5})\,x$$

Binodialtangenten sind. Die Asymptoten der Kurve sind den Geraden

$$x \pm y = 0$$

parallel. Setzen wir

$$x \pm y = c$$

in die Gleichung der Kurve ein, so ergibt sich:

$$(2y^2 \pm 2cy + c^2)\,(\pm 2cy + c^2)^2 = r^2\,(\pm 2cy + cy + c^2 \pm y^2)^2.$$

Hieraus folgt:

$$2y^2 \cdot 4c^2y^2 = r^2y^4,$$

$$c = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2}\,.$$

Die 4 Asymptoten sind also:

$$x + y = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2},$$

$$x - y = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2}\,.$$

Die Kurve ist auf Tafel 18, Fig. 2 gezeichnet.

$\underline{n = 3}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3}\,\mathrm{tg}\,3\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3\,\mathrm{tg}\,\varphi - \mathrm{tg}^3\varphi}{1 - 3\,\mathrm{tg}^2\varphi}\right) = r\left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3\frac{y}{x} - \frac{y^3}{x^3}}{1 - 3\frac{y^2}{x^2}}\right),$$

[1]) cf. Loria: „Ebene Kurven“, pag. 184.

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{3x^2y - y^3}{x^3 - 3xy^2}\right) = r \cdot \frac{x^3 - 3xy^2 + x^2y - \frac{1}{3}y^3}{x^3 - 3xy^2},$$

$$(x^2 + y^2)(x^2 - 3y^2)^2 \cdot x^2 = r^2\left(x^3 - 3xy^2 + x^2y - \frac{1}{3}y^3\right)^2.$$

Ganz entsprechend wie im Falle $n = 2$ ist der Koordinatenanfang hier 6facher Kurvenpunkt mit drei Binodialtangenten. Die Asymptoten sind parallel den Geraden:

$$x = 0, \qquad x \pm \sqrt{3} \cdot y = 0.$$

Den Verlauf der Kurve zeigt Tafel 18, Fig. 3.

$\underline{n = 4}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{4}\operatorname{tg} 4\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{4} \cdot \frac{4\operatorname{tg}\varphi - 4\operatorname{tg}^3\varphi}{1 - 6\operatorname{tg}^2\varphi + \operatorname{tg}^4\varphi}\right) = r\left(1 + \frac{\frac{y}{x} - \frac{y^3}{x^3}}{1 - 6\frac{y^2}{x^2} + \frac{y^4}{x^4}}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{yx^3 - xy^3}{x^4 - 6x^2y^2 + y^4}\right),$$

$$(x^2 + y^2)(x^4 - 6x^2y^2 + y^4)^2 = r^2(x^4 - 6x^2y^2 + y^4 + yx^3 - xy^3)^2.$$

Der Koordinatenanfang ist 8facher Kurvenpunkt mit 4 Binodialtangenten. Die Asymptoten sind parallel den Geraden:

$$y = \pm\sqrt{3 + 2\sqrt{2}},$$

$$y = \pm\sqrt{3 - 2\sqrt{2}}.$$

Die Kurve ist dargestellt auf Tafel 18, Fig. 4.

$\underline{n = \frac{1}{2}}$

$$\rho = r\left(1 + 2\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{2}{\sin\varphi} - 2\cot\varphi\right) = r\left(1 + \frac{2\rho}{y} - \frac{2x}{y}\right),$$

$$\rho y = r(y - 2\rho - 2x),$$

$$\rho(y - 2r) = r(y - 2x),$$

$$(x^2 + y^2)(y - 2r)^2 = r^2(y - 2x)^2.$$

Multiplizieren wir aus, so ergibt sich:

$$(x^2 + y^2)(y^2 - 4ry) + 4r^2(x^2 + y^2) = r^2(y^2 - 4xy) + 4r^2x^2.$$

Da $4r^2x^2$ sich aus der Gleichung forthebt, so zerfällt die Kurve in die Gerade $y = 0$ und die C^3:

$$(x^2 + y^2)(y - 4r) + 4r^2y = r^2(y - 4x),$$
$$(x^2 + y^2)(y - 4r) + 3r^2y + 4r^2x = 0.$$

Dass die Kurve sich auf eine C^3 reduziert, ist natürlich; denn sie ist Konchoide der Strophoide[1]) $\rho = 2r\,\mathrm{tg}\frac{\varphi}{2}$, die auch eine C^3 ist.

Die Kurve hat im Koordinatenanfang die Tangente:

$$3y + 4x = 0.$$

Die Asymptote ist parallel der x-Achse. Setzen wir $y = c$, so erhalten wir:

$$(x^2 + c^2)(c - 4r) + 3r^2c + 4r^2x = 0,$$

und hieraus folgt $c = 4r$, so dass also die Gleichung der Asymptote lautet:

$$y = 4r.$$

Der Punkt ($x = r$, $y = 2r$) ist Doppelpunkt, wie man leicht durch Koordinatenverschiebung beweisen kann. Die Kurve besitzt ähnliche Gestalt wie die auf pag. 21 abgeleitete C^3. Sie ist aber kein Spezialfall derselben. Der Verlauf der Kurve ist auf Tafel 18, Fig. 5 angegeben.

III. Die Kreiswickelkurven der Secanslinie.

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{n}\sec n\varphi\right).$$

Alle diese Kurven sind Konchoiden der Kurven:

$$\rho = \frac{r}{n}\sec n\varphi.$$

Letztere sind zum Teil noch nicht untersucht und sollen deshalb hier mit angeführt werden.

$\underline{n = 1}$

$$\rho = r(1 + \sec\varphi),$$
$$\rho = r\left(1 + \frac{\rho}{x}\right),$$
$$\rho x = r(x + \rho),$$
$$(x^2 + y^2)(x - r)^2 = r^2x^2.$$

[1]) cf. Loria: „Ebene Kurven“, pag. 62.

Die erste Kreiswickelkurve der Secanslinie ist also die Konchoide des Nikomedes.

$\underline{n = 2}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{2}\sec 2\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{2(\cos^2\varphi - \sin^2\varphi)}\right) = r\left(1 + \frac{1}{2\left(\frac{x^2}{\rho^2} - \frac{y^2}{\rho^2}\right)}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{\rho^2}{2(x^2 - y^2)}\right) = r \cdot \frac{3x^2 - y^2}{2(x^2 - y^2)},$$

$$4(x^2 + y^2)(x^2 - y^2)^2 = r^2(3x^2 - y^2)^2.$$

Diese C^6 hat im Koordinatenanfang einen vierfachen Punkt mit den Binodialtangenten:

$$y \pm \sqrt{3} \cdot x = 0.$$

Die Asymptoten sind parallel zu den Geraden:

$$x \pm y = 0.$$

Setzen wir $x \pm y = c$, so ergibt sich:

$$4(c^2 \pm 2cy + 2y^2)(c^2 \pm 2cy)^2 = r^2(3c^2 \pm 6cy + 2y^2)^2,$$

woraus folgt:

$$8y^2 \cdot 4c^2y^2 = 4r^2y^4,$$

$$c = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2}.$$

Die beiden Asymptotenpaare sind also:

$$x - y = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2},$$

$$x + y = \pm\frac{r}{4}\sqrt{2}.$$

Die Kurve findet sich gezeichnet auf Tafel 19, Fig. 1. Sie ist eine Konchoide der Kurve:

$$\rho = \frac{r}{2}\sec 2\varphi,$$

$$\rho = \frac{r}{2} \cdot \frac{1}{\cos^2\varphi - \sin^2\varphi} = \frac{r}{2} \cdot \frac{1}{\frac{x^2}{\rho^2} - \frac{y^2}{\rho^2}},$$

$$4(x^2 + y^2)(x^2 - y^2)^2 = r^2(x^2 + y^2)^2.$$

Diese zerfällt in die imaginären Kreispunkte und die C^4:

$$4(x^2 - y^2)^2 = r^2(x^2 + y^2).$$

Letztere hat im Koordinatenanfang einen isolierten Doppelpunkt. Ihre Asymptoten sind dieselben wie bei der Kreiswickelkurve.

Die Kurve ist gezeichnet auf Tafel 20, Fig. 1. Sie ist bekannt als „Kreuzkurve“. Führen wir das System der beiden Medianen als Koordinatensystem ein, so lautet die Gleichung der Kurve:

$$\frac{\left(\frac{r}{8}\right)^2}{\xi^2} + \frac{\left(\frac{r}{8}\right)^2}{\eta^2} = 1 .$$

$\underline{n = 3}$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3}\sec 3\varphi\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{1}{3(4\cos^3\varphi - 3\cos\varphi)}\right) = r\left(1 + \frac{1}{3\left(4\frac{x^3}{\rho^3} - 3\frac{x}{\rho}\right)}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + \frac{\rho^3}{3(4x^3 - 3x\rho^2)}\right) = r\,\frac{12x^3 - 9x\rho^2 + \rho^3}{3(4x^3 - 3x\rho^2)},$$

$$\rho\cdot(3x^3 - 9xy^2) = r\cdot(3x^2 - 9xy^2) + r\rho^3,$$

$$\rho(3x^3 - 9xy^2 - r(x^2 + y^2)) = 3r(x^3 - 3xy^2),$$

$$(x^2 + y^2)[3x(x^2 - 3y^2) - r(x^2 + y^2)]^2 = 9r^2x^2(x^2 - 3y^2)^2 .$$

Diese C^8 hat im Koordinatenanfang einen 6fachen Punkt. Die Tangenten in demselben bestimmen sich aus:

$$(x^2 + y^2)^3 = 9x^2(x^2 - 3y^2)^2 .$$

Die Asymptoten sind parallel den Geraden:

$$x = 0,$$

$$x \pm \sqrt{3}\cdot y = 0 .$$

Setzen wir $x = c$, so folgt:

$$(c^2 + y^2)[3c(c^2 - 3y^2) - r(c^2 + y^2)]^2 = 9r^2c^2(c^2 - 3y^2)^2$$

und hieraus:

$$y^2(-9cy^2 - ry^2)^2 = 0,$$

$$c = -\frac{r}{9}.$$

Die erste Asymptote ist also:

$$x = -\frac{r}{9}.$$

Setzen wir:

$$x = c \pm \sqrt{3}\cdot y,$$

so erhalten wir aus

$$(c^2 \pm 2c\sqrt{3}\cdot y + 4y^2)\,[3(c \pm \sqrt{3}\cdot y)(c^2 \pm 2c\sqrt{3}\cdot y)$$
$$- r^2(c^2 \pm 2c\sqrt{3}\cdot y + 4y^2)]^2 = 9r^2(c \pm \sqrt{3}\cdot y)^2(c^2 \pm 2c\sqrt{3}\cdot y)^2 :$$
$$16y^2(3\cdot 3\cdot 2c\cdot y^2 - 4r^2y^2)^2 = 0,$$
$$c = \frac{2}{9}r,$$

so dass also die zweite und dritte Asymptote die Gleichungen haben:

$$x \pm \sqrt{3}\cdot y = \frac{2}{9}r.$$

Die Kurve ist auf Tafel 19, Fig. 2 gezeichnet. Sie ist eine Konchoide der Kurve:

$$\rho = r\cdot\frac{1}{3}\sec 3\varphi,$$
$$\rho = \frac{r}{3}\cdot\frac{1}{4\cos^3\varphi - 3\cos\varphi} = \frac{r}{3}\cdot\frac{1}{4\frac{x^3}{\rho^3} - 3\frac{x}{\rho}},$$
$$3\rho = \frac{r\rho^3}{4x^3 - 3x\rho^2},$$
$$3\rho(x^3 - 3y^2x) = r\rho(x^2 + y^2),$$
$$9(x^2 + y^2)(x^3 - 3y^2x)^2 = r^2(x^2 + y^2)^3.$$

Diese zerfällt in die imaginären Kreispunkte und die C^6:

$$9(x^2 - 3y^2)^2x^2 = r^2(x^2 + y^2)^2.$$

Letztere hat im Koordinatenanfang einen vierfachen isolierten Punkt mit den Geraden

$$x \pm iy = 0$$

als Binodialtangenten. Die Asymptoten sind parallel den Geraden:

$$x = 0,$$
$$x \pm \sqrt{3}\cdot y = 0.$$

Setzen wir $x = c$, so folgt aus

$$9(c^2 - 3y^2)^2c^2 = r^2(c^2 + y^2)^2 :$$
$$81y^4c^2 = r^2y^4,$$
$$c = \pm\frac{r}{9},$$

so dass das erste Asymptotenpaar die Gleichung hat:

$$x = \pm\frac{r}{9}.$$

Setzen wir $x = c \pm \sqrt{3} \cdot y$, so folgt aus

$$9(c^2 \pm 2c\sqrt{3} \cdot y)^2 (c \pm \sqrt{3} \cdot y)^2 = r^2 (c^2 \pm 2c\sqrt{3} \cdot y + 4y^2)^2:$$

$$9 \cdot 4c^2 \cdot 3 \cdot y^2 \cdot 3y^2 = r^2 \cdot 16y^4,$$

$$81 c^2 = 4r^2,$$

$$c = \pm \frac{2}{9} r.$$

Die Gleichungen der andern beiden Asymptotenpaare lauten also:

$$x + \sqrt{3} \cdot y = \pm \frac{2}{9} r,$$

$$x - \sqrt{3} \cdot y = \pm \frac{2}{9} r.$$

Die Kurve ist auf Tafel 20, Fig. 2 dargestellt.

$\underline{n = \frac{1}{2}}$

$$\rho = r\left(1 + 2\sec\frac{\varphi}{2}\right),$$

$$\rho = r\left(1 + 2\sqrt{\frac{2}{1+\cos\varphi}}\right) = r\left(1 + 2\sqrt{\frac{2}{1+\frac{x}{\rho}}}\right),$$

$$(\rho - r)^2 = \frac{8r^2\rho}{\rho + x},$$

$$\rho^3 - 2r\rho^2 + r^2\rho + x\rho^2 - 2r\rho x + r^2 x = 8r^2\rho,$$

$$\rho(x^2 + y^2 - 7r^2 - 2rx) = [(x^2 + y^2)(2r - x) - r^2 x],$$

$$(x^2 + y^2)(x^2 + y^2 - 7r^2 - 2rx)^2 = [(x^2 + y^2)(2r - x) - r^2 x]^2.$$

Diese Kurve ist auf Tafel 19, Fig. 3 dargestellt. Sie ist Konchoide der Kurve:

$$\rho = 2r\sec\frac{\varphi}{2},$$

$$\rho = 2r\sqrt{\frac{2}{1+\frac{x}{\rho}}} = 2r\sqrt{\frac{2\rho}{x+\rho}},$$

$$\rho^2 = 4r^2\frac{2\rho}{x+\rho},$$

$$x\rho^2 + \rho^3 = 8r^2\rho,$$

$$\rho(\rho^2 - 8r) = -x\rho^2,$$

$$(x^2 + y^2)(x^2 + y^2 - 8r^2)^2 = x^2(x^2 + y^2)^2.$$

Die Kurve zerfällt in die imaginären Kreispunkte und die C^4

$$(x^2 + y^2 - 8r^2)^2 = x^2(x^2 + y^2).$$

Letztere findet sich auf Tafel 20, Fig. 3 dargestellt.

Schluss.

Zum Schluss möge bemerkt werden, dass man das Problem, das wir behandelt haben, auch umkehren kann. Anstatt also die Kurve Γ auf die Kurve A aufzuwickeln, kann man sie auch als auf die Kurve A aufgewickelt betrachten und sie abwickeln. Bei dieser Transfiguration würden wir auch auf eine ganze Reihe neuer Kurven stossen.

Auch kann man das Problem auf den Raum anwenden und es sowohl zur Erzeugung von Flächen wie von Raumkurven benutzen.

Um Raumkurven zu erzeugen, können wir z. B. eine Raumkurve R_1 als Abszissenkurve benutzen und eine ebene Kurve K in der Schmiegungsfläche der Raumkurve R_1 auf die Raumkurve aufwickeln. Oder, noch allgemeiner: Wir denken eine Raumkurve R als mit einer Ebene E fest verbunden und wickeln eine Gerade dieser Ebene auf R auf, und die Ebene E auf die Schmiegungsfläche von R.

Um Flächen zu erzeugen, nehmen wir auf einer Fläche F_1 eine Schar von Kurven C an und irgendwo auf der Fläche F_1 eine die Kurven C schneidende Kurve R. Von dieser festen Kurve R an wickeln wir dann auf den Schmiegungsflächen der Kurven C die erzeugende ebene Kurve K ab und erhalten eine Fläche F_2.

Sind z. B. F_1 eine Kugelfläche, C die Meridiane, R der Aequator derselben, und K eine Gerade, so ist F_2 die Rotationsfläche einer Archimedischen Spirale.

Ueber Dispersion und chemische Konstitution einiger Anionen im Wasser.

Von

Johannes Bieker - Bleche.

Eingegangen bei der Redaktion am 20. Juli 1913.

1. Einleitung.

Die optischen und elektrischen Erscheinungen bilden jetzt nicht mehr zwei voneinander getrennte Gebiete, sondern haben in ihren Ursachen eine gemeinsame Wurzel. Den inneren Zusammenhang beiderseitiger, äusserlich so ganz verschiedener Erscheinungen liefert die Maxwellsche elektromagnetische Lichttheorie, nach welcher Lichtschwingungen identisch sind mit elektromagnetischen Schwingungen von sehr kleiner Schwingungsdauer.

Wenn diese Theorie auch zwanglos viele Erscheinungen zu erklären imstande ist, wie die Transversalität, Fortpflanzung, Brechung, Interferenz, so versagt sie jedoch bei einer Reihe von Erscheinungen. Zu diesen gehört auch die Dispersion.

Die Maxwellsche Theorie hat daher eine weitere vervollkommnende Ergänzung in der Elektronentheorie erhalten, nach welcher die elektrisch neutralen Atome und Moleküle eines Körpers aus positiv geladener ponderablen Materie und Elektronen, d. i. negativen Elektrizitätsteilchen bestehen.

Zur Erklärung der Dispersion wird noch die weitere Annahme hinzugefügt, dass sowohl Atome, Moleküle oder Atomgruppen, wie auch die Elektronen Eigenschwingungen ausführen können.[1])

[1]) P. Drude, Lehrbuch der Optik, p. 363, 1906.

Der Zerfall der Moleküle in Ionen tritt in Salzlösungen auf, die für genaue Untersuchungen über den Einfluss der Ionisation auf irgendeine physikalische Eigenschaft wegen der stationären[1]) Verhältnisse geeignet sind.

Der Dichte[2]), Oberflächenspannung, inneren Reibung, spez. Wärme reiht sich auch die Dispersion als Eigenschaft an. Im Anschluss an Dichteuntersuchungen wässeriger Salzlösungen wurden im hiesigen Institut auch Dispersionsmessungen im sichtbaren Spektrum ausgeführt von E. Rubien[3]) und K. Grufki[4]). Letzterer fand, dass bei den Salzen der Leichtmetalle die Dispersion nur vom Anion abhängt, und innerhalb der Beobachtungsfehler das Kation keinen merklichen Einfluss hat, und ferner stellte K. Lübben[5]) fest, dass die Dispersion im Sichtbaren und Ultravioletten nur durch eine Elektronenart, wahrscheinlich durch ein schwingendes Elektron für jedes Anion bedingt ist.

Da dies vermutlich das bei der Ionisation vom Kation auf das Anion übergehende Elektron ist, und die Dispersion ein Mass für die Stärke der Bindung desselben an das Anion gibt, so schien es von Interesse, den Einfluss der chemischen Konstitution des letzteren auf die Dispersion zu untersuchen.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller habe ich daher einmal den Einfluss der Gruppe CH_2 auf die Dispersion und ferner den des Eintrittes von Sauerstoff untersucht, indem Dispersionsmessungen vorgenommen wurden an den Anionen der ersten Glieder der einbasischen Fettsäurenreihe (Ameisen-Essig-Propionsäure), ferner an Chloraten, Perchloraten, Bromaten, Jodaten zur Vergleichung mit den Messungen Grufkis an den entsprechenden Halogensalzen. Auf die Untersuchung weiterer Perchlorate wurde verzichtet, da sich deren Dispersion im Bereiche des Sichtbaren als sehr klein erwies und daher mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht genau zu bestimmen war. Ausserdem wurden noch Thalliumsalze (Fluorid und Sulfat) untersucht, über die noch keine Bestimmungen vorlagen. Die Lösungen waren von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller für andere Untersuchungen hergestellt, und auch deren Dichten bestimmt.

Alle Messungen wurden bei der Temperatur 18° C. ausgeführt.

[1]) A. Heydweiller, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.
[2]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, p. 873, 1909; **33**, p. 145, 1910.
[3]) E. Rubien, Inaug.-Diss., Rostock 1911.
[4]) K. Grufki, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.
[5]) K. Lübben, Inaug.-Diss., Rostock 1913.

2. Versuchsanordnung.

Zur Bestimmung der Dispersion wurden die Brechungsexponenten n_α, n_β, n_γ der drei Wasserstofflinien H_α, H_β, H_γ für Wasser und Lösung mit dem Pulfrichschen Refraktometer aus der Fabrik von Zeiss-Jena ausgeführt. Mit Hülfe der Mikrometerschraube kann der beobachtete Winkel i bis auf 0,1 Minute abgelesen werden. Bei verdünnteren Lösungen wurde die Dispersion nur durch die Mikrometerschraube bestimmt, soweit ihr Messungsbereich es zuliess.

Die Hauptfehlerquellen waren einerseits unscharfe Grenzlinien, Temperaturschwankungen andererseits. Auf die Schärfe der Grenzlinien wurde daher viel Sorgfalt verwandt, wobei die am Apparate angebrachte Blende sehr dienlich war, so dass die Einstellungen des Fadenkreuzes auf die Grenzlinien selten um 0,5 Minuten differierten; die Abweichungen beeinflussten das Resultat des Brechungsexponenten um einige Einheiten der 5. Dezimale.

Die Temperaturschwankungen wurden durch einen fliessenden Wasserstrom von sehr nahe **18° C.** in engen Grenzen gehalten, und ihre Konstanz wurde noch dadurch erhöht, dass das Beobachtungszimmer auf ca. 18° C. erwärmt war, so dass während einer Messung die Temperaturschwankung 0,03° C. nicht überstieg. Für jede der drei Linien wurden drei Einstellungen gemacht, und daraus das Mittel genommen.

Vor jeder Beobachtungsreihe war es notwendig, das Auge ausruhen zu lassen, zumal die Helligkeit und damit auch die Schärfe der violetten Linie den beiden andern nachstand. Damit die Lösung schneller die Temperatur des Refraktometers annehmen konnte, wurde sie vorher in einem Wasserbade auf 18° C. gebracht.

Da solche Massregeln die Zeit einer Messung verlängerten, so wurde die Lösung, um Konzentrationsänderungen zu vermeiden, durch einen am Thermometer angebrachten Deckel verschlossen. Die Temperatur der Lösung zeigte ein hineinragendes Thermometer an, das auch zum Rühren benutzt wurde, um infolge kleiner Temperaturunterschiede hervorgerufene Schichtenbildungen in der Lösung zu vermeiden.

Am Anfange und am Schlusse einer jeden Konzentrationsreihe wurden die drei Brechungsexponenten für Wasser bestimmt,

um etwaige, bei der Reinigung auftretende Verschiebungen festzustellen.

3. Bestimmung des Leitvermögens.

Um die Abhängigkeit der Lichtbrechung von der Ionisation feststellen zu können, wurde auch das Leitvermögen der Lösungen, soweit es nicht anderweitig bekannt war, bestimmt, und zwar das der Bromate, Formiate, Propionate, sowie von $NaClO_4$, TlF und $Tl(SO_4)^1/_2$. Die Bestimmung wurde nach der bekannten Methode von F. Kohlrausch mittels Wechselstrom und Telephon ausgeführt. Der Messdraht der Walzenbrücke (Hartmann & Braun) wurde mit einem Präzisions-Rheostaten verglichen, und die Korrektionen wurden in einer Kurve graphisch dargestellt.

Desgleichen wurde das Widerstandsgefäss mit veränderlicher Kapazität auf 1- normal KCl-Lösung geeicht. Da während der Leitfähigkeitsbestimmungen die Aussentemperatur in der Nähe von 4° C. stand, und daher meistens ohne Kühlung eine gute Temperaturkonstanz hergestellt werden konnte, so wurde für die Bromate und Formiate das Leitvermögen auch bei 4° C. bestimmt, und daraus der Temperaturkoeffizient berechnet (Tabellen 23—30).

4. Ergebnisse.

Im Anschluss an andere Arbeiten über den gleichen Gegenstand (siehe Seite 2) sind folgende Bezeichnungen gewählt:

m = Konzentration der Lösung in gr-Aequivalent pro Liter,

i = elektrolytischer Dissoziationsgrad bei 18° C. als Quotient $\frac{\Lambda}{\Lambda_0}$, wo Λ das Aequivalentleitvermögen bei gegebener, Λ_0 das bei unendlich kleiner Konzentration ist. Für Λ_0 wurde die Summe der Ionenbeweglichkeiten nach F. Kohlrausch gesetzt,

$s_{18/18}$ = spez. Gewicht bei 18° C. bezogen auf Wasser von 18° C.,

$\Delta_n = 100\frac{n - n_0}{n_0 m}$ ist der äquivalente, prozentische, optische Dichtezuwachs.

Während früher F. Kohlrausch und W. Hallwachs[1]) auf eine Abhängigkeit zwischen Dichte und Leitvermögen auf-

[1]) F. Kohlrausch, W. Hallwachs, Wied. Ann. **50**, p. 125, 1893.

merksam machten, wurde die Beziehung zwischen elektrolytischem Dissoziationsgrad und Dichte von A. Heydweiller[1]) als linear erkannt und in der Gleichung dargestellt

$$\Delta_s = B_s + (A_s - B_s)\, i,$$

wo A_s und B_s Konstanten sind.

Auch die optische Dichte wässeriger Salzlösungen fügte sich demselben Gesetze, was im sichtbaren Spektrum E. Rubien[2]) für Na-Licht, K. Grufki[3]) für die drei Wasserstofflinien bestätigten, während K. Lübben[4]) die Gültigkeit auch im Ultravioletten bewies.

In den Ergebnissen der ausgeführten Messungen wurde aus den beobachteten Werten $\Delta_{n\alpha}$, $\Delta_{n\beta}$ der zwei Wasserstofflinien das Δ_n für die D-Linie mit Hülfe der empirischen Formel

$$\Delta_{nD} = \Delta_{n\alpha} + 0{,}285\,(\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha})$$

interpoliert.

Wie zu erwarten war, kam auch hier für alle vier Linien die lineare Abhängigkeit des Dissoziationsgrades von der optischen Dichte zum Vorschein. Die graphische Darstellung, bei welcher der Dissoziationsgrad i als Abszisse und die Werte von den vier Δ_n der 4 zwischen 0,2- und 4- normal liegenden Konzentrationen als Ordinaten gewählt wurden, ergab, dass bei allen untersuchten Salzen durch die erhaltenen Punkte mit grosser Annäherung sich eine Grade legen liess.

Die Abweichungen sind teils auf Beobachtungsfehler zurückzuführen, teils überschreiten sie die Fehlergrenzen, besonders bei starken Konzentrationen, die der Sättigung nahe liegen, wie das z. B. die Propionate zeigen. Die Abweichungen letzterer Art dürften auf Polymerisation zurückzuführen sein und treten in ähnlicher Weise bei der Dichte[5]) auf.

Die vier Konstantenpaare $A_{n\alpha}\, B_{n\alpha}$; $A_{nD}\, B_{nD}$; $A_{n\beta}\, B_{n\beta}$; $A_{n\gamma}\, B_{n\gamma}$ der vier Linien wurden zunächst näherungsweise durch graphische Extrapolation als Schnittpunkte, gehörig zu den Abszissen $i = 0$ und $i = 1$, ermittelt, sodann so korrigiert, dass die Summe[6]) der Fehlerquadrate ein Minimum wurde.

---

[1]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, p. 875, 1909.
[2]) E. Rubien, Inaug.-Diss., Rostock 1911.
[3]) K. Grufki, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.
[4]) K. Lübben, Inaug.-Diss., Rostock 1913.
[5]) A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, p. 900, 1909.
[6]) F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys., p. 19, 1905.

Die Konstante B_n liefert den prozentischen, optischen Dichtezuwachs für ein nichtdissoziiertes, A_n den für ein dissoziiertes Grammäquivalent. Die Differenz $A_n - B_n$ zeigt den Einfluss der Ionisation an, und zwar hat dieser eine Vermehrung der Lichtbrechung zur Folge; denn A_n wurde bei allen hier untersuchten Lösungen grösser als B_n gefunden.

Die Konstanten A_n und B_n der einzelnen Linien, sowie die beobachteten und berechneten Δ_n nebst den Differenzen finden sich in den Tabellen (1—21).

Wegen der geringen Konzentrationen des schwer löslichen $Tl(SO_4)_{1/2}$ war der Einfluss der Beobachtungsfehler ziemlich gross, so dass er eine sichere Bestimmung der Konstanten A_n und B_n nicht zuliess.

5. Die Dispersion.

Die Dispersion der Lösung gegen Wasser wird dargestellt durch die Differenz $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$ bzw. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$, welche mit der Natur des Anions stark variiert. Die meisten einwertigen Kationen haben keinen merklichen Einfluss, während bei einigen einwertigen und vielen zweiwertigen Kationen die Abweichungen bedeutend über die Fehlergrenze hinausgehen.

Die Dispersion der meisten hier untersuchten Salzlösungen mit gleichem Anion ist nahezu eine Konstante, was K. Grufki[1]) im sichtbaren Spektrum schon festgestellt und was aus K. Lübbens[2]) Messungen auch hervorgeht.

Eine deutliche Ausnahme machen die Thalliumsalze; möglicherweise hat das hohe Atomgewicht Einfluss.

Zur Feststellung dieser Konstanten wurde aus den vier Differenzwerten $\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$ bzw. $\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$, die den vier Konzentrationen entsprechen, das Mittel genommen unter Berücksichtigung der verschiedenen Genauigkeit der Einzelwerte, weil bei verdünnteren Lösungen der Einfluss der Beobachtungsfehler bedeutend grösser war.

Die Dispersionswerte der einzelnen Lösungen enthält die Tabelle 22.

Wie die Ionisation für jede der vier Linien die Lichtbrechung vergrössert, und zwar um den Betrag $A_n - B_n$, so scheint diese

[1]) K. Grufki, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.

[2]) K. Lübben, Inaug.-Diss., Rostock 1913.

Differenz von der Wellenlänge des angewandten Lichtes nicht unabhängig zu sein. Bei der graphischen Darstellung der vier Linien fand E. Rubien[1]) eine geringe Konvergenz nach der Seite der Punkte B_n hin. Auch aus den von mir gefundenen Werten geht hervor, dass $A_n - B_n$ mit abnehmender Wellenlänge zunimmt; jedoch ist die Zunahme so gering, dass sie die Fehlergrenze der Beobachtungen oft nicht überschreitet und daher nur den Charakter einer Vermutung trägt. Allerdings gewinnt sie mehr an Wahrscheinlichkeit, da K. Lübben[2]) ein solches Steigen der Differenz $A_n - B_n$ mit abnehmender Wellenlänge als sicher nachgewiesen hat.

Was die ultraviolette Eigenschwingung des Anions anlangt, so genügt zu deren Bestimmung der angewandte Spektralbereich, der von 656 $\mu\mu$ bis 434 $\mu\mu$ reicht, wegen der wenigen Wellenlängenintervalle nicht.

6. Dispersion und Anion.

Wie oben erwähnt, wird die Dispersion durch die Natur des Anions bestimmt. Bei den untersuchten Lösungen wurde das Anion so gewählt, dass bei den anorganischen Verbindungen Sauerstoffatome, bei den organischen die Atomgruppe CH_2 hinzutrat.

	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$		$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$
Cl	0,022*	0,037*	$C_3H_5O_2$	0,019	0,031
ClO_3	0,013	0,022	$C_2H_3O_2$	0,019	0,030
ClO_4	0	0	CHO_2	0,017	0,028$_5$
Br	0,044*	0,073*			
BrO_3	0,031	0,051			
J	0,104*	0,175*			
JO_3	0,063	0,102			

Wie die Tabelle zeigt, ist der Einfluss des O-Eintrittes auf die Dispersion sehr gross, während der des CH_2-Eintrittes gering ist.

[1]) E. Rubien, Inaug.-Diss,, Rostock 1911.

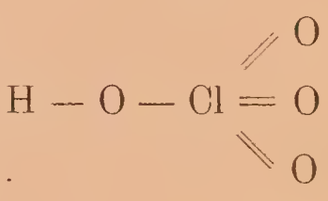
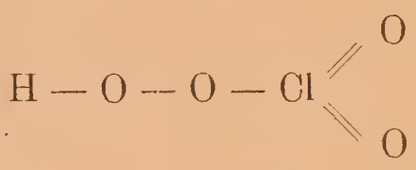
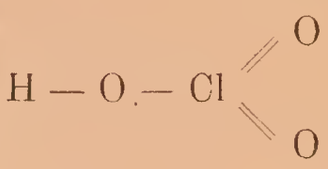
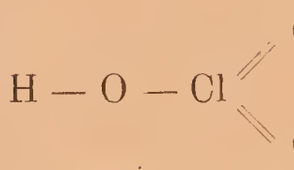
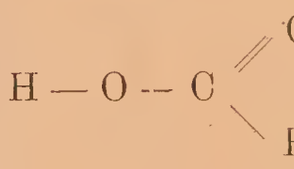
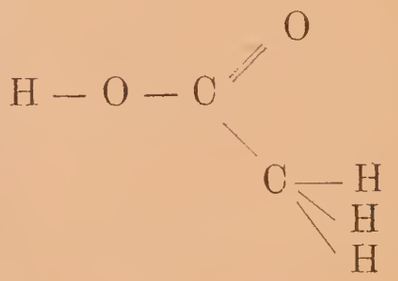
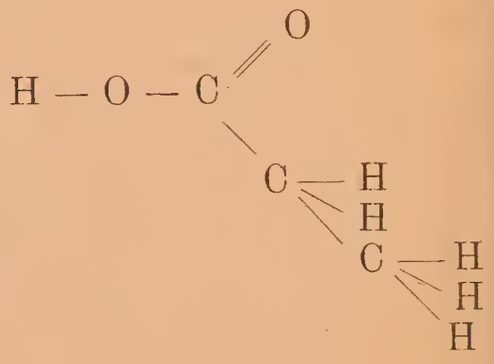
[2]) K. Lübben, Inaug.-Diss., Rostock 1913.

*) Die mit * bezeichneten Werte sind K. Grufkis Bestimmungen entnommen.

Eine Erklärung dieser Tatsache liefert die Ketteler-Helmholtzsche Dispersionsformel[1])

$$\frac{n^2}{{n_0}^2} = a^2 + \sum \frac{M}{\lambda'^2 - \lambda'_a{}^2},$$

welche die relative Dispersion der elektrolytischen Lösungen gegen Wasser als Funktion der Wellenlänge darstellt und im Ultravioletten und Sichtbaren Gültigkeit[2]) hat. a, M und λ'_a sind Konstanten, von denen λ'_a die Wellenlänge der ultravioletten Eigenschwingung bedeutet. Bei abnehmender Dispersion muss die Differenz $\lambda'^2 - \lambda'_a{}^2$ zunehmen, d. h. λ'_a kleiner werden.

	I.	II.
Perchlorat		
Chlorat		
Formiat		
Acetat		
Propionat		

[1]) P. Drude, Ann. d. Phys. **14**, p. 680, 1904.

[2]) A. Heydweiller, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.

Daraus geht hervor, dass das schwingende Elektron bei Dispersionsabnahme stärker an das Anion gebunden ist, und diese stärkere Kettung eine Verkleinerung der Eigenwellenlänge und damit auch der Eigenschwingungsdauer zur Folge hat.

Die stärkere Dispersionsänderung der Sauerstoffsäuren gegenüber den organischen Fettsäuren steht in Uebereinstimmung mit der chemischen Tatsache, dass erstere beständiger sind als die letzteren.

Wie aus oben stehender Tabelle hervorgeht, zeigt der Uebergang vom Chlorat zum Perchlorat eine starke Dispersionsabnahme, und es fragt sich, ob dieses auch in den chemischen Konstitutionsformeln zum Ausdruck kommt.

Würde der Ueberchlorsäure die Konstitutionsformel I — das ist die übliche Schreibweise[1]) — zukommen, so wäre nicht einzusehen, warum dem Elektron eine viel stärkere Bindung als in der Chlorsäure zukommt. Die Formel II ist daher wahrscheinlicher. Dass der Einfluss der CH_2-Gruppe in der Fettsäurenreihe so gering ist, hängt wohl mit der entfernteren Stellung vom Kation im Molekül zusammen.

7. Zusammenfassung.

1. Für einen gewissen Konzentrationsbereich, ca. 0,1 und 4-normal, ist eine Anzahl von Salzen (vergl. Seite 2) in wässeriger Lösung untersucht worden.

Es zeigte sich bei allen untersuchten Substanzen für die Wellenlängen 656 $\mu\mu$, 589 $\mu\mu$, 486 $\mu\mu$, 434 $\mu\mu$ die Gültigkeit der Gleichung

$$\Delta_n = B_n + (A_n - B_n)\, i,$$

bei der durch die Konstanten A_n und B_n die Lichtbrechungszunahme von seiten des dissoziierten Moleküls getrennt wird von der des nichtdissoziierten.

2. Weiterhin bestätigte sich, dass die Dispersion für die untersuchten Salze (mit Ausnahme der Thalliumsalze), nicht merklich abhängig vom Kation, nur durch das Anion bestimmt wird.

---

[1]) H. Erdmann, Lehrb. d. anorg. Chemie, p. 280, 1900.

3. Als Ursache der Dispersionsänderung muss die Kettung des Elektrons im Molekül angesehen werden, und zwar zieht eine festere Bindung des Elektrons eine Dispersionsabnahme nach sich. Umgekehrt liefert die Dispersion eine empfindliche Methode für die Untersuchung des konstitutionellen Molekülbaues eines Körpers, die insbesondere bei isomeren Körpern von Erfolg sein dürfte.

Tabelle I.

$Na\,CHO_2$

$A_{n\alpha} = 0{,}708$ $B_{n\alpha} = 0{,}488$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}220$

$A_{nD} = 0{,}715$ $B_{nD} = 0{,}490$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}225$

$A_{n\beta} = 0{,}731$ $B_{n\beta} = 0{,}497$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}234$

$A_{n\gamma} = 0{,}738$ $B_{n\gamma} = 0{,}509$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}229$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
4,013	0,310	0,553	0,556	— 0,003	0,557	0,560	— 0,003	0,567	0,570	— 0,003	0,578	0,580	— 0,002	0,014	0,025	1,15698
1,975	0,478	0,597	0,593	+ 0,004	0,602	0,598	+ 0,004	0,613	0,609	+ 0,004	0,622	0,619	+ 0,003	0,016	0,025	1,08063
1,001	0,593	0,623	0,619	+ 0,004	0,628	0,623	+ 0,005	0,640	0,636	+ 0,004	0,649	0,645	+ 0,004	0,017	0,026	1,04177
0,5003	0,678	0,632	0,637	— 0,005	0,638	0,643	— 0,005	0,652	0,656	— 0,004	0,661	0,664	— 0,003	0,020	0,029	1,02115

Tabelle II.

$Li\,CHO_2$

$A_{n\alpha} = 0{,}597$ $B_{n\alpha} = 0{,}461$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}136$

$A_{nD} = 0{,}603$ $B_{nD} = 0{,}462$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}141$

$A_{n\beta} = 0{,}621$ $B_{n\beta} = 0{,}469$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}152$

$A_{n\gamma} = 0{,}646$ $B_{n\gamma} = 0{,}469$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}177$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,956	0,310	0,502	0,503	— 0,001	0,506	0,506	± 0	0,516	0,516	± 0	0,524	0,524	± 0	0,014	0,022	1,09523
2,004	0,478	0,526	0,526	± 0	0,530	0,529	+ 0,001	0,541	0,542	— 0,001	0,552	0,554	— 0,002	0,015	0,026	1,04963
1,002	0,593	0,542	0,542	± 0	0,547	0,546	+ 0,001	0,559	0,559	± 0	0,571	0,574	— 0,003	0,017	0,029	1,02540
0,5002	0,678	0,551	0,553	— 0,002	0,557	0,558	— 0,001	0,573	0,572	+ 0,001	0,591	0,589	+ 0,002	0,022	0,040	1,01285

Tabelle III.

$Ba_{1/2}CHO_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}158$ $B_{n\alpha} = 0{,}865$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}293$

$A_{nD} = 1{,}172$ $B_{nD} = 0{,}864$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}308$

$A_{n\beta} = 1{,}204$ $B_{n\beta} = 0{,}869$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}335$

$A_{n\gamma} = 1{,}220$ $B_{n\gamma} = 0{,}878$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}342$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
1,985	0,307	0,953	0,955	− 0,002	0,958	0,959	− 0,001	0,972	0,972	± 0	0,985	0,983	+ 0,002	0,019	0,032	1,17769
0,9982	0,429	0,991	0,991	± 0	0,997	0,996	+ 0,001	1,013	1,013	± 0	1,025	1,025	± 0	0,022	0,034	1,09084
0,5000	0,523	1,019	1,018	+ 0,001	1,026	1,025	+ 0,001	1,044	1,044	± 0	1,053	1,057	− 0,004	0,025	0,034	1,04608
0,2003	0,624	1,046	1,048	− 0,002	1,055	1,056	− 0,001	1,079	1,078	+ 0,001	1,095	1,091	+ 0,004	0,033	0,049	1,01859

Tabelle IV.

$Sr_{1/2}CHO_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}050$ $B_{n\alpha} = 0{,}793$ $A_{n\alpha} \quad B_{n\alpha} = 0{,}257$

$A_{nD} = 1{,}056$ $B_{nD} = 0{,}798$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}258$

$A_{n\beta} = 1{,}073$ $B_{n\beta} = 0{,}807$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}266$

$A_{n\gamma} = 1{,}077$ $B_{n\gamma} = 0{,}827$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}250$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
1,514	0,340	0,880	0,880	± 0	0,885	0,886	− 0,001	0,896	0,897	− 0,001	0,911	0,912	− 0,001	0,016	0,031	1,10324
1,002	0,411	0,902	0,899	+ 0,003	0,907	0,904	+ 0,003	0,919	0,916	+ 0,003	0,930	0,930	± 0	0,017	0,028	1,06905
0,5007	0,509	0,921	0,924	− 0,003	0,927	0,929	− 0,002	0,942	0,942	± 0	0,958	0,954	+ 0,004	0,021	0,037	1,03493
0,2003	0,619	0,953	0,952	+ 0,001	0,958	0,958	± 0	0,971	0,972	− 0,001	0,980	0,982	− 0,002	0,018	0,027	1,01417

Tabelle V.

$Ba_{1/2}C_2H_3O_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}361$ $B_{n\alpha} = 1{,}068$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}293$

$A_{nD} = 1{,}372$ $B_{nD} = 1{,}072$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}300$

$A_{n\beta} = 1{,}386$ $B_{n\beta} = 1{,}086$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}300$

$A_{n\gamma} = 1{,}420$ $B_{n\gamma} = 1{,}092$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}328$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,837	0,110	1,070	1,100	[− 0,030]	1,076	1,105	[− 0,029]	1,091	1,119	[− 0,028]	1,103	1,128	[− 0,025]	0,021	0,033	1,3290
1,995	0,248	1,138	1,141	− 0,003	1,144	1,146	− 0,002	1,159	1,160	− 0,001	1,172	1,173	− 0,001	0,021	0,034	1,17690
0,9942	0,381	1,185	1,180	+ 0,005	1,191	1,186	+ 0,005	1,205	1,200	+ 0,005	1,222	1,217	+ 0,005	0,020	0,037	1,08984
0,5023	0,485	1,207	1,210	− 0,003	1,214	1,217	− 0,003	1,230	1,231	− 0,001	1,249	1,251	− 0,002	0,023	0,042	1,04583

Tabelle VI.

$Li\,C_2\,H_3\,O_2$

$A_{n\alpha} = 0{,}765$ $B_{n\alpha} = 0{,}703$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}062$

$A_{nD} = 0{,}771$ $B_{nD} = 0{,}708$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}063$

$A_{n\beta} = 0{,}785$ $B_{n\beta} = 0{,}719$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}066$

$A_{n\gamma} = 0{,}789$ $B_{n\gamma} = 0{,}730$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}059$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
4,011	0,105	0,708	0,710	− 0,002	0,713	0,714	− 0,001	0,724	0,726	− 0,002	0,734	0,736	− 0,002	0,016	0,026	1,09706
2,012	0,266	0,722	0,719	+ 0,003	0,727	0,725	+ 0,002	0,739	0,737	+ 0,002	0,748	0,746	+ 0,002	0,017	0,026	1,04958
1,004	0,423	0,730	0,729	+ 0,001	0,735	0,735	± 0	0,749	0,747	+ 0,002	0,759	0,755	+ 0,004	0,019	0,029	1,02506
0,5025	0,551	0,736	0,737	− 0,001	0,741	0,743	− 0,002	0,754	0,755	− 0,001	0,759	0,763	− 0,004	0,018	0,023	1,01269

Tabelle VII.

$KC_3H_5O_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}097$ $B_{n\alpha} = 0{,}932$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}165$

$A_{nD} = 1{,}103$ $B_{nD} = 0{,}936$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}167$

$A_{n\beta} = 1{,}121$ $B_{n\beta} = 0{,}949$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}172$

$A_{n\gamma} = 1{,}134$ $B_{n\gamma} = 0{,}955$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}179$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,998	0,257	0,952	0,974	[− 0,022]	0,957	0,979	[− 0,022]	0,969	0,993	[− 0,024]	0,981	1,001	[− 0,020]	0,017	0,029	1,17500
2,006	0,446	1,006	1,006	± 0	1,011	1,010	+ 0,001	1,024	1,026	− 0,002	1,035	1,035	± 0	0,018	0,029	1,09216
1,004	0,589	1,028	1,029	− 0,001	1,034	1,034	± 0	1,049	1,050	− 0,001	1,060	1,060	± 0	0,021	0,032	1,04708
0,5014	0,686	1,046	1,045	+ 0,001	1,052	1,051	+ 0,001	1,068	1,067	+ 0,001	1,077	1,078	− 0,001	0,022	0,031	1,02388

Tabelle VIII.

$Ca_{1/2}C_3H_5O_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}336$ $B_{n\alpha} = 1{,}084$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}252$

$A_{nD} = 1{,}334$ $B_{nD} = 1{,}093$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}241$

$A_{n\beta} = 1{,}363$ $B_{n\beta} = 1{,}103$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}260$

$A_{n\gamma} = 1{,}378$ $B_{n\gamma} = 1{,}115$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}263$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,095	0,080	1,078	1,104	[− 0,026]	1,083	1,112	[− 0,029]	1,097	1,124	[− 0,027]	1,109	1,136	[− 0,027]	0,019	0,031	1,12083
2,014	0,148	1,117	1,121	− 0,004	1,122	1,129	− 0,007	1,136	1,141	− 0,005	1,149	1,154	− 0,005	0,019	0,032	1,08393
1,037	0,273	1,158	1,153	+ 0,005	1,164	1,159	+ 0,005	1,179	1,174	+ 0,005	1,192	1,187	+ 0,005	0,021	0,034	1,04354
0,5194	0,387	1,180	1,182	− 0,002	1,186	1,186	± 0	1,201	1,204	− 0,003	1,215	1,217	− 0,002	0,021	0,035	1,02232

Tabelle IX.

$Na\,C_3\,H_5\,O_2$

$A_{n\alpha} = 1{,}085$ $B_{n\alpha} = 0{,}933$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}152$

$A_{nD} = 1{,}091$ $B_{nD} = 0{,}939$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}152$

$A_{n\beta} = 1{,}112$ $B_{n\beta} = 0{,}950$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}162$

$A_{n\gamma} = 1{,}130$ $B_{n\gamma} = 0{,}961$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}169$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
4,110	0,142	0,926	0,955	[− 0,029]*	0,931	0,961	[− 0,030]	0,945	0,973	[− 0,028]	0,955	0,985	[− 0,030]	0,019	0,029	1,15122
2,059	0,324	0,982	0,982	± 0	0,988	0,988	± 0	1,002	1,002	± 0	1,015	1,016	− 0,001	0,020	0,033	1,0804
1,030	0,481	1,006	1,006	± 0	1,013	1,012	+ 0,001	1,030	1,028	+ 0,002	1,043	1,042	+ 0,001	0,024	0,037	1,04127
0,5148	0,595	1,023	1,023	± 0	1,029	1,029	± 0	1,044	1,046	− 0,002	1,061	1,061	± 0	0,021	0,038	1,02094

* Die geklammerten Werte wurden bei der Herstellung der Konstanten A_n und B_n nicht berücksichtigt.

Tabelle X.

$HCl\,O_3$

$A_{n\alpha} = 0{,}655$ $B_{n\alpha} = 0{,}614$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}041$

$A_{nD} = 0{,}660$ $B_{nD} = 0{,}617$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}043$

$A_{n\beta} = 0{,}673$ $B_{n\beta} = 0{,}624$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}049$

$A_{n\gamma} = 0{,}691$ $B_{n\gamma} = 0{,}620$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}071$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,504	0,505	0,635	0,635	± 0	0,639	0,639	± 0	0,649	0,649	± 0	0,657	0,656	+ 0,001	0,014	0,022	1,1687
1,722	0,700	0,643	0,643	± 0	0,647	0,647	± 0	0,657	0,658	− 0,001	0,666	0,670	− 0,004	0,014	0,023	1,08352
0,8658	0,807	0,649	0,647	+ 0,002	0,653	0,652	+ 0,001	0,664	0,664	± 0	0,676	0,677	− 0,001	0,015	0,027	1,04221
0,4392	0,866	0,648	0,649	− 0,001	0,653	0,654	− 0,001	0,666	0,666	± 0	0,683	0,681	+ 0,002	0,018	0,035	1,02148

Tabelle XI.

$Ba_{1/2}ClO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}260$	$A_{nD} = 1{,}265$	$A_{n\beta} = 1{,}276$	$A_{n\gamma} = 1{,}286$
$B_{n\alpha} = 0{,}990$	$B_{nD} = 0{,}994$	$B_{n\beta} = 1{,}003$	$B_{n\beta} = 1{,}010$
$A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}270$	$A_{nD} - B_{nD} = 0{,}271$	$A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}273$	$A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}276$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$			Δ_{nD}			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}{}_{18}$
		beob.	ber.	Diff.	beob.	ber.	Diff.	beob.	ber.	Diff.	beob.	ber.	Diff.			
1,987	0,408	1,101	1,100	+ 0,001	1,105	1,105	± 0	1,114	1,114	± 0	1,123	1,123	± 0	0,013	0,022	1,23664
1,057	0,505	1,124	1,126	— 0,002	1,128	1,131	— 0,003	1,139	1,141	— 0,002	1,150	1,149	+ 0,001	0,015	0,026	1,12701
0,5281	0,584	1,149	1,148	+ 0,001	1,154	1,152	+ 0,002	1,165	1,162	+ 0,003	1,171	1,171	± 0	0,016	0,022	1,06371

Tabelle XII.

$NaClO_3$

$A_{n\alpha} = 0{,}836$	$A_{nD} = 0{,}840$	$A_{n\beta} = 0{,}856$	$A_{n\gamma} = 0{,}864$
$B_{n\alpha} = 0{,}569$	$B_{nD} = 0{,}572$	$B_{n\beta} = 0{,}572$	$B_{n\gamma} = 0{,}577$
$A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}267$	$A_{nD} - B_{nD} = 0{,}268$	$A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}284$	$A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}287$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$			Δ_{nD}			$\Delta_{n\beta}$			$\Delta_{n\gamma}$			$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
		beob.	ber.	Diff.	beob	ber.	Diff.	beob.	ber.	Diff.	beob.	ber.	Diff.			
3,845	0,381	0,671	0,671	± 0	0,674	0,674	± 0	0,681	0,680	+ 0,001	0,687	0,686	+ 0,001	0,010	0,016	1,25712
2,000	0,527	0,711	0.710	+ 0,001	0,714	0,713	+ 0,001	0,720	0,722	— 0,002	0,726	0.727	— 0,001	0,009	0,015	1,1368
1,002	0,628	0,739	0,737	+ 0,002	0,742	0,740	+ 0,002	0,750	0,750	± 0	0,757	0,757	± 0	0,011	0,018	1,0697
0,501	0,704	0,756	0,757	— 0,001	0,760	0,761	— 0,001	0,770	0,772	— 0,002	0,780	0,779	+ 0,001	0,014	0,024	1,0354

Tabelle XIII.

$NaClO_4$

$A_n = 0{,}682$
$B_n = 0{,}424$
$A_n - B_n = 0{,}258$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\beta}$	$\Delta_{n\gamma}$	Δ_n be.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,991	0,361	0,520	0,519	0,519	0,517	— 0,001	— 0,001	1,2964
2,002	0,512	0,557	0,555	0,555	0,556	— 0,002	— 0,002	1,1915
1,001	0,605	0,580	0,580	0,581	0,580	—	+ 0,001	1,07694
0,5004	0,667	0,591	0,598	0,596	0,596	+ 0,007	+ 0,005	1,03888

Tabelle XIV.

$NaBrO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}299$ $B_{n\alpha} = 1{,}008$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}291$

$A_{nD} = 1{,}308$ $B_{nD} = 1{,}013$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}295$

$A_{n\beta} = 1{,}332$ $B_{n\beta} = 1{,}027$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}305$

$A_{n\gamma} = 1{,}357$ $B_{n\gamma} = 1{,}035$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}322$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
2,015	0,491	1,151	1,151	± 0	1,159	1,158	+ 0,001	1,179	1,177	+ 0,002	1,194	1,193	+ 0,001	0,028	0,043	1,22947
1,002	0,609	1,184	1,185	— 0,001	1,192	1,193	— 0,001	1,211	1,213	— 0,002	1,228	1,231	— 0,003	0,027	0,044	1,11561
0,5021	0,690	1,207	1,209	— 0,002	1,215	1,216	— 0,001	1,235	1,238	— 0,003	1,258	1,257	+ 0,001	0,028	0,051	1,05832
0,2003	0,775	1,234	1,234	± 0	1,243	1,242	+ 0,001	1,266	1,263	+ 0,003	1,285	1,285	± 0	0,032	0,051	1,02342

Tabelle XV.

$Sr_{1/2}BrO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}651$ $B_{n\alpha} = 1{,}309$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}342$

$A_{nD} = 1{,}661$ $B_{nD} = 1{,}318$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}343$

$A_{n\beta} = 1{,}685$ $B_{n\beta} = 1{,}341$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}344$

$A_{n\gamma} = 1{,}698$ $B_{n\gamma} = 1{,}368$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}330$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
1,481	0,415	1,450	1,451	− 0,001	1,459	1,460	− 0,001	1,482	1,484	− 0,002	1,501	1,505	− 0,004	0,032	0,051	1,20858
1,006	0,478	1,474	1,472	+ 0,002	1,483	1,482	+ 0,001	1,507	1,505	+ 0,002	1,529	1,526	+ 0,003	0,033	0,055	1,14314
0,5000	0,565	1,504	1,502	+ 0,002	1,513	1,512	+ 0,001	1,534	1,535	− 0,001	1,559	1,554	+ 0,005	0,030	0,055	1,07173
0,1976	0,659	1,534	1,534	± 0	1,543	1,544	− 0,001	1,567	1,568	− 0,001	1,582	1,585	− 0,003	0,033	0,048	1,02853

Tabelle XVI.

$Mg_{1/2}BrO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}442$ $B_{n\alpha} = 1{,}228$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}214$

$A_{nD} = 1{,}456$ $B_{nD} = 1{,}234$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}222$

$A_{n\beta} = 1{,}486$ $B_{n\beta} = 1{,}251$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}235$

$A_{n\gamma} = 1{,}496$ $B_{n\gamma} = 1{,}277$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}219$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,007	0,281	1,287	1,288	− 0,001	1,295	1,296	− 0,001	1,316	1,317	− 0,001	1,337	1,339	− 0,002	0,029	0,050	1,33678
2,012	0,372	1,310	1,308	+ 0,002	1,319	1,317	+ 0,002	1,341	1,338	+ 0,003	1,360	1,358	+ 0,002	0,031	0,050	1,22739
0,9977	0,492	1,334	1,333	+ 0,001	1,343	1,343	± 0	1,366	1,367	− 0,001	1,387	1,385	+ 0,002	0,032	0,053	1,11384
0,5010	0,580	1,352	1,352	± 0	1,362	1,363	− 0,001	1,387	1,387	± 0	1,401	1,404	− 0,003	0,035	0,049	1,05754

Tabelle XVII.

$Zn_{1/2}BrO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}652$	$A_{nD} = 1{,}663$	$A_{n\beta} = 1{,}690$	$A_{n\gamma} = 1{,}707$
$B_{n\alpha} = 1{,}380$	$B_{nD} = 1{,}389$	$B_{n\beta} = 1{,}414$	$B_{n\gamma} = 1{,}433$
$A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}272$	$A_{nD} - B_{nD} = 0{,}274$	$A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}276$	$A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}274$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
3,167	0,250	1,447	1,448	− 0,001	1,457	1,457	± 0	1,481	1,483	− 0,002	1,501	1,501	± 0	0,034	0,054	1,42317
1,540	0,403	1,494	1,490	+ 0,004	1,504	1,499	+ 0,005	1,529	1,525	+ 0,004	1,546	1,543	+ 0,003	0,035	0,052	1,20912
1,037	0,466	1,504	1,507	0,003	1,514	1,517	− 0,003	1,540	1,543	− 0,003	1,561	1,561	± 0	0,036	0,057	1,14130
0,5171	0,556	1,532	1,531	+ 0,001	1,542	1,541	+ 0,001	1,566	1,567	− 0,001	1,585	1,585	± 0	0,034	0,063	1,07101

Tabelle XVIII.

HJO_3

$A_{n\alpha} = 1{,}836$	$A_{nD} = 1{,}854$	$A_{n\beta} = 1{,}898$	$A_{n\gamma} = 1{,}926$
$B_{n\alpha} = 1{,}638$	$B_{nD} = 1{,}658$	$B_{n\beta} = 1{,}708$	$B_{n\gamma} = 1{,}755$
$A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}198$	$A_{nD} - B_{nD} = 0{,}196$	$A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}190$	$A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}171$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
4,027	0,203	1,682	1,678	+ 0,004	1,701	1,698	+ 0,003	1,750	1,747	+ 0,003	1,794	1,790	+ 0,004	0,068	0,112	1,5726
2,017	0,305	1,694	1,698	− 0,004	1,713	1,718	− 0,005	1,760	1,766	− 0,006	1,801	1,807	− 0,006	0,066	0,107	1,2910
1,008	0,406	1,719	1,718	+ 0,001	1,738	1,738	± 0	1,785	1,785	± 0	1,824	1,824	± 0	0,066	0,105	1,14767
0,5083	0,501	1,739	1,737	+ 0,002	1,758	1,756	+ 0,002	1,804	1,803	+ 0,001	1,843	1,841	+ 0,002	0,065	0,104	1,07523

Tabelle XIX.

$LiJO_3$

$A_{n\alpha} = 1{,}928$ $B_{n\alpha} = 1{,}716$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}212$

$A_{nD} = 1{,}944$ $B_{nD} = 1{,}732$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}212$

$A_{n\beta} = 1{,}985$ $B_{n\beta} = 1{,}774$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}211$

$A_{n\gamma} = 2{,}019$ $B_{n\gamma} = 1{,}812$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}207$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
2,076	0,309	1,779	1,781	− 0,002	1,796	1,797	− 0,001	1,838	1,839	− 0,001	1,875	1,876	− 0,001	0,059	0,096	1,3177
1,034	0,459	1,814	1,813	+ 0,001	1,831	1,829	+ 0,002	1,873	1,871	+ 0,002	1,909	1,907	+ 0,002	0,059	0,095	1,1599
0,5180	0,580	1,837	1,839	− 0,002	1,854	1,855	− 0,001	1,895	1,896	− 0,001	1,930	1,932	− 0,002	0,058	0,093	1,08066

Tabelle XX.

$Tl\,F$

$A_{n\alpha} = 1{,}449$ $B_{n\alpha} = 1{,}141$ $A_{n\alpha} - B_{n\alpha} = 0{,}308$

$A_{nD} = 1{,}462$ $B_{nD} = 1{,}163$ $A_{nD} - B_{nD} = 0{,}299$

$A_{n\beta} = 1{,}503$ $B_{n\beta} = 1{,}203$ $A_{n\beta} - B_{n\beta} = 0{,}300$

$A_{n\gamma} = 1{,}575$ $B_{n\gamma} = 1{,}173$ $A_{n\gamma} - B_{n\gamma} = 0{,}402$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$ beob.	$\Delta_{n\alpha}$ ber.	$\Delta_{n\alpha}$ Diff.	Δ_{nD} beob.	Δ_{nD} ber.	Δ_{nD} Diff.	$\Delta_{n\beta}$ beob.	$\Delta_{n\beta}$ ber.	$\Delta_{n\beta}$ Diff.	$\Delta_{n\gamma}$ beob.	$\Delta_{n\gamma}$ ber.	$\Delta_{n\gamma}$ Diff.	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
1,012	0,632	1,336	1,336	± 0	1,352	1,352	± 0	1,391	1,393	− 0,002	1,425	1,427	− 0,002	0,055	0,089	1,21270
0,5010	0,697	1,355	1,356	− 0,001	1,372	1,371	+ 0,001	1,415	1,412	+ 0,003	1,456	1,453	+ 0,003	0,060	0,101	1,10586
0,2006	0,769	1,378	1,378	± 0	1,393	1,393	± 0	1,432	1,434	− 0,002	1,480	1,482	− 0,002	0,054	0,102	1,04259

Tabelle XXI.

$Tl(SO_4)_{1/2}$

m	i_{18}	$\Delta_{n\alpha}$	Δ_{nD}	$\Delta_{n\beta}$	$\Delta_{n\gamma}$	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$s^{18}/_{18}$
0,1718	0,565	1,749	1,764	1,802	1,850	0,053	0,101	1,03948
0,1016	0 616	1,782	1,803	1,855	1,887	0,073	0,105	1,02350
0,05012	0,687	1,798	1,826	1,895	1,980	0,097	0,182	1,01167

Tabelle XXII.

a) Organische Anionen.

	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$\frac{\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}}{\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}}$
$NaCHO_2$	0,015	0,025	1.67
$LiCHO_2$	0,015	0,025	1,67
$Sr_{1/2}CHO_2$	0,017	0.030	1,76
$Ba_{1/2}CHO_2$	0,021	0,034	1,62
Mittel	0,017	$0,028_5$	
$LiC_2H_3O_2$	0,017	0,026	1,53
$Ba_{1/2}C_2H_3O_2$	0,021	0,034	1,62
Mittel	0,019	0,030	
$KC_3H_5O_2$	0,018	$0,029_5$	1,64
$Ca_{1/2}C_3H_5O_2$	0,019	0,032	1,68
$NaC_3H_5O_2$	0,020	0,032	1,60
Mittel	0,019	0,031	

b) Anorganische Anionen.

	$\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}$	$\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}$	$\frac{\Delta_{n\gamma} - \Delta_{n\alpha}}{\Delta_{n\beta} - \Delta_{n\alpha}}$
$NaClO_4$	— 0,001	— 0,001	—
$NaClO_3$	0,010	0,017	1,70
$HClO_3$	0,014	0,024	1,71
$Ba_{1/2}ClO_3$	0,014	0,023	1,64
Mittel	0,013	0,022	
$NaBrO_3$	0,028	0,045	1,60
$Mg_{1/2}BrO_3$	$0,030_5$	0,050	1,64
$Sr_{1/2}BrO_3$	0,032	0,053	1,66
$Zn_{1/2}BrO_3$	$0,034_5$	0,055	1,59
Mittel	0,031	0,051	
$LiJO_3$	0,059	0,095	1,61
HJO_3	0,067	0,109	1,63
Mittel	0,063	0,102	
TlF	0,056	0,094	1,68
$Tl(SO_4)_{1/2}$*	0,065	0,114	1,75

* Wegen der geringen Konzentrationen weniger genau.

Tabelle XXIII.

$LiCHO_2$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
3,956	56,40	37,87	0,0281
2,004	54,49	37,56	0,0263
1,002	38,86	26,93	0,0259
0,5002	24,05	16,68	0,0258
			0,0265

Tabelle XXIV.

$NaCHO_2$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
4,013	112,59	76,37	0,0274
1,975	85,50	59,62	0,0255
1,001	53,74	37,68	0,0251
0,5003	30,69	21,45	0,0253
			0,0258

Tabelle XXV.

$Sr_{1/2}CHO_2$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
1,002	40,34	28,57	0,0244
0,5007	24,97	17,57	0,0248
0,2003	12,15	8,456	0,0256
			0,0249

Tabelle XXVI.

$Ba_{1/2}CHO_2$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
1,985	62,15	43,96	0,0245
0,9982	43,61	31,02	0,0241
0,5000	26,66	18,88	0,0244
0,2003	12,75	8,965	0,0249
			0,0245

Tabelle XXVII.

$NaBrO_3$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
2,015	88,53	63,13	0,0239
1,002	54,58	38,89	0,0240
0,5021	30,94	22,09	0,0238
0,2003	13,82	9,82	0,0241
			0,0240

Tabelle XXVIII.

$Mg_{1/2}BrO_3$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
3,007	77,01	54,32	0,0247
2,012	68,16	48,41	0,0242
0,9977	44,65	31,60	0,0244
0,5010	26,42	18,62	0,0247
			0,0245

Tabelle XXIX.

$Sr_{1/2}BrO_3$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
1,481	59,64	42,74	0,0236
1,006	46,58	33,18	0,0240
0,5000	27,38	19,34	0,0246
0,1976	12,64	8,91	0,0247
			0,0242

Tabelle XXX.

$Zn_{1/2}BrO_3$

m	$10^3 \varkappa_{18}$	$10^3 \varkappa_4$	$\frac{1}{\varkappa_{11}} \cdot \frac{\varkappa_{18} - \varkappa_4}{14}$
3,167	73,05	51,54	0,0247
1,540	57,06	40,72	0,0239
1,037	44,49	31,65	0,0241
0,5171	26,51	18,81	0,0243
			0,0242

Vorstehende Arbeit wurde im physikalischen Institut der Universität Rostock auf Veranlassung und unter Leitung von Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller ausgeführt.

Es sei mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. A. Heydweiller meinen herzlichsten Dank auszusprechen für die oft erteilten wertvollen Ratschläge, sowie für das stets fördernde Interesse, das er meiner Arbeit immer in ganz besonderem Masse entgegengebracht hat.

Literaturverzeichnis.

P. Drude, Lehrb. d. Optik, p. 363. 1906.
P. Drude, Ann. d. Phys. **14**, p. 680, 1904.
H. Erdmann, Lehrb. d. anorg. Chemie, p. 280, 1900.
K. Grufki, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.
A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **30**, pp. 875, 900, 1909.
A. Heydweiller, Ann. d. Phys. **33**, p. 145, 1910.
A. Heydweiller, Sitzb. u. Abh. d. naturf. Ges. zu Rostock **4**, 1912.
F. Kohlrausch, W. Hallwachs, Wied. Ann. **50**, p. 125, 1893.
F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys. p. 19, 1905.
K. Lübben, Inaug.-Diss. Rostock 1913.
E. Rubien, Inaug.-Diss. Rostock 1911.

[Aus dem Institut für Pharmakologie und physiol. Chemie der Universität Rostock.]

Ueber den mikrochemischen Saponin-Nachweis in der Pflanzenzelle.

Von

Dr. M. Reich.

(Hierzu Tafel 21 u. 22.)

Eingegangen bei der Redaktion am 28. Juli 1913.

Auf Anregung von Herrn Geheimrat Professor Dr. Kobert untersuchte ich einige Saponindrogen mikrochemisch auf den Sitz des Saponins. Die bisher angewandten Methoden sind folgende:

A. Rosoll[1]) färbte nach dem Fixieren durch Eintrocknen oder Behandeln mit Alkohol oder Aether mit konzentrierter Schwefelsäure. Bekanntlich färbt sich damit Saponin orangerot bis violett. Zum Photographieren sind aber derartig behandelte Schnitte nicht zu gebrauchen, da die Verfärbung eine allzu intensive ist und bald in Schwarzbraun übergeht, einer Verkohlung ähnlich. — Ph. Lafon[2]) färbte seine Schnitte direkt mit einer Mischung von gleichen Raumteilen Alkohol und Schwefelsäure und erzielte ebenfalls Orange-, Rot- und Violettfärbung. Die Präparate sind anschaulicher. — R. Combe's[3]) Methode beruht auf längerer Behandlung der Schnitte mit gesättigtem Barytwasser, Abdekantieren, Auswaschen mit Kalkwasser und Umsetzen des gebildeten Baryt-Saponins mit Kaliumdichromatlösung zu Saponin und Baryumchromat, welch letzteres in Form gelber Kristalle den ursprünglichen Sitz des Saponins anzeigen soll. Combe untersuchte hiernach folgende Pflanzen: Gypsophila pani-

[1]) A. Rosoll, Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss., I. Abt., März-Heft 1884.
[2]) Ph. Lafon, Journal de Pharmazie et de Chimie 1885/7.
[3]) R. Combe, Compt. rend. 1907, 145, 1431.

culata, Saponaria officinalis, Arum maculatum, Aesculus Hippocastanum, Anagallis arvensis und Digitalis purpurea. Leider fehlen die speziellen anatomischen Befunde. — Ich untersuchte meine Schnitte nach Lafon mit Alkohol-Schwefelsäure und zur Ergänzung nach Combe's Barytmethode. Zur Behandlung mit Alkohol-Schwefelsäure werden die Schnitte zunächst eine Stunde lang bei 98 bis 100° getrocknet, dann im Reagensglas mehrmals mit wasserfreiem Aether durchschüttelt und nach dem Abdekantieren des letzteren gut getrocknet. Auf ein Objektgläschen gebracht, werden sie mit einem Tropfen Alkohol-Schwefelsäure [aus gleichen Raumteilen gemischt] befeuchtet. Ohne aufgelegtes Deckglas muss man nun vorläufig die Reaktion beobachten. Man sieht zunächst eine Gelbfärbung der saponinhaltigen Gewebe, dann Orangefärbung, eventuell Rot- oder Violettfärbung. Durch diese Beobachtung ist schon der Sitz des Saponins festgestellt. Jedoch muss man zur Erzielung eines deutlich klaren Bildes einige Stunden warten, bis die Alkohol-Schwefelsäure-Mischung auf die Zellinhaltstoffe nicht mehr einwirkt. Ist dies der Fall, so legt man ein Deckglas auf das Präparat und beobachtet nun unter dem Mikroskop. Rot- oder Violettfärbung hat man jetzt nicht mehr zu suchen, vielmehr eine gelbbraune, graue oder schwarze, stark lichtbrechende, amorphe Substanz als feines Pulver oder zu dunklen Klümpchen gruppiert. Diese Substanz befindet sich an den Stellen, die vorher die Verfärbung aufwiesen. Gleichzeitig hat das Reagens meist eine vollständige Auflösung der übrigen Zellinhaltstoffe bewirkt, und gewährt dadurch ein besseres Bild. In zweifelhaften Fällen muss man die Barytmethode zu Hilfe nehmen. Denn wegen der Verschiedenartigkeit der Saponinsubstanzen wird man sich besser beider Methoden bedienen müssen. — Z. B. kann durch Alkohol-Schwefelsäure auch ohne vorherige Verfärbung des ganzen Gewebes eine spezielle Braun- oder Dunkelfärbung des als Klümpchen fixierten Saponins eintreten. Umgekehrt vollzieht sich bei allzu intensiver Gelbfärbung eine vollständige Auflösung des Saponins, wie bei der Kornrade und Rosskastanie.

Die von mir untersuchten Drogen sind folgende:

Wurzel von Saponaria officinalis,

„ „ „ alba, und zwar von Gypsophila paniculata,

„ „ Sarsaparilla Honduras,

Wurzel von Sarsaparilla Veracruz,
„ „ Hemidesmus indicus,
„ „ Polygala Senega,
Samen von Thea assamica,
„ „ Bassia latifolia,
„ „ Agrostemma Githago.

Seifenwurzel.

Schon A. Rosoll[1]) untersuchte nach seiner oben angegebenen Methode die gemeine und die levantinische Seifenwurzel [Saponaria rubra sive officinalis und alba] und behauptet, dass sich das Saponin in den Parenchymzellen der Mittelrinde und in den Zellen der Markstrahlen und des Holzparenchyms findet. Meine Befunde weichen von dieser Behauptung etwas ab; und gerade darum bringe ich von dieser Droge mehrere Abbildungen [Fig. 1 bis 5]. Ich finde in den bearbeiteten Seifenwurzeln: Saponaria officinalis oder rubra und in Saponaria alba oder Gypsophila paniculata das Saponin nur an folgenden Stellen:

im Rindenparenchym [Fig. 2 und 4],
im Mark [Fig. 1, 3 und 5],
in den primären Markstrahlen und zwar nur an deren Enden in Rinde und Mark [Fig. 2, 3 und 4].

Niemals aber finde ich das Saponin im Holzteil, auch nicht in den dazwischen liegenden Markstrahlen. Die Abbildungen [Fig. 2 und 3] zeigen das Saponin deutlich im Rindenparenchym und in den Markstrahlen bei ihrer Endigung in Rinde und Mark. In den Markstrahlen zwischen dem Holzteil ist kein Saponin sichtbar. Danach darf man also nur sagen, dass sich das Saponin dieser drei Seifenwurzeln lediglich in der Mittelrinde und im Mark befindet.

In den über der Wurzel befindlichen Stengelteilen scheint es etwas anders zu sein. Während unsere einheimische Seifenwurzel [Saponaria officinalis] in ihren eigentlichen Wurzelteilen das Saponin ebenfalls in der Mittelrinde und im Mark, niemals aber im Holzteil enthält, ist in den unmittelbar über dem Erdboden befindlichen Stengelteilen das Saponin vorzugsweise im Mark vorhanden [Fig. 1], sehr wenig dagegen in dem Rindenparenchym.

[1]) A. Rosoll, Sitzb. d. k. Akad. d. Wiss., I. Abt., März-Heft 1884.

Bemerkenswert ist noch, dass sich das Saponin der Seifenwurzeln beim Fixieren gruppenweise in dunklen Häufchen absetzt.

Sarsaparille.

Die beiden bekanntesten Sarsaparillwurzeln, nämlich die Sarsaparille-Honduras und Veracruz, zeigen ein ziemlich verschiedenes Verhalten. In beiden Drogen findet sich das Saponin ausschliesslich im Rindenparenchym. Holzkörper und Mark sind vollständig saponinfrei. Das Saponin der Sarsaparille-Honduras erfüllt als orangegelbe Masse die Zellen des Rindenparenchyms und tritt besonders scharf gefärbt hervor nach der Behandlung mit Alkohol-Schwefelsäure. Hierbei wird die Stärke in Rinde und Mark vollständig aufgelöst, und man sieht im Rindenparenchym sowohl in der Nähe der Endodermis, wie auch nach aussen zu das orangefarbene Saponin als homogene Masse [Fig. 6 und 7]. Ich bringe hier zum Vergleich einen nach der Barytmethode behandelten Schnitt der Sarsaparille-Honduras [Fig. 8]. — In der Sarsaparille-Veracruz dagegen lagert es sich ähnlich wie bei den Seifenwurzeln zu schwarz schattierten Gruppen im Rindenparenchym ab [Fig. 9 und 10]. —

Eine in England gebräuchliche Droge, die sogenannte indische Sarsaparille, untersuchte ich ebenfalls. Es ist dies die Wurzel von **Hemidesmus indicus,** einem schlingenden Strauchgewächs aus Ostindien, zur Familie der Asklepiadaceen gehörend. Auf dem Querschnitt der Wurzel sieht man von aussen nach innen zu eine braune Korkschicht, dann eine breitere Rindenschicht, einen sehr breiten Holzkörper und nur wenig Mark. Mit Ausnahme der Korkschicht finden sich überall braune Farbstoffmassen, die sich lediglich als gerbstoffhaltig aber nicht als Saponin erweisen. Sie sitzen in der Innenrinde regellos, im Holzkörper perlschnurartig angereiht [Fig. 11], im Mark vereinzelt.

Assamtee-Samen.

Eine bisher noch weniger bekannte, aber meiner Ansicht nach zufolge ihrer wichtigen Zellinhaltstoffe nicht unbedeutende Droge ist die Frucht von Tea assamica, die Assamteefrucht. Dieselbe ist rund, 15 mm gross im Durchmesser und besteht wesentlich

aus einer dunkelbraunen, harten Samenschale und dem darin eingeschlossenen, ca. 10 bis 12 mm grossen Samen. Der Querschnitt durch die dünne, harte Samenschale zeigt lediglich dickwandige Steinzellen mit gelbbraunen Inhaltstoffen, die aber kein Saponin enthalten. Die Steinzellen sind rundlich, auch länglich. Ihre Grösse beträgt 0,02, 0,03 bis 0,06 mm. Unter der Samenschale befindet sich der Same, umgeben von einem dünnen, braunen Häutchen. Der Same wird lediglich dargestellt von den beiden fleischig gewordenen, gelblich aussehenden Kotyledonen, die man leicht in ihre beiden Teile spalten kann. In ihrem Querschnitt sieht man vorzugsweise Fett und Stärkekörner. Letztere sind einfach und zusammengesetzt, die einfachen rund, die zusammengesetzten meist länglich. Ihre Grösse beträgt 0,009, 0,015 bis 0,021 mm. Sie sind konzentrisch geschichtet und haben in der Mitte eine verzweigte Kernspalte. Die Parenchymzellen des Kotyledonargewebes haben eine durchschnittliche Grösse von 0,06 bis 0,075 mm. — Die Morphologie der Droge und ihr Saponin sind von J. Halberkann[1]) näher beschrieben. Er untersuchte nach der Methode von R. Combe [siehe oben] den Sitz des Saponins und fand es in allen Zellen des parenchymatischen Kotyledonargewebes. Auch ich finde nach meiner Fixierungs- und Färbungsmethode das Saponin in allen Teilen des Kotyledonargewebes, besonders in den Randpartien, und zwar als amorphe, sehr kleine, stark lichtbrechende, gelbbraune Substanz [Fig. 12]. In vereinzelten Fällen — bei nicht vollständiger Entfettung — sieht man das Saponin mit Fettropfen innig gemischt. Fig. 13 zeigt die gelbbraunen Saponinhäufchen, je von einem Fettropfen eingeschlossen. Jedoch muss ich betonen, dass es sich hier nur um eine seltnere Erscheinung handelt.

Mowrah-Samen.

Die Kotyledonen von Bassia latifolia, dem in Ostindien heimischen Butterbaum, sind wegen ihres hohen Fettgehaltes in der Industrie sehr gebräuchlich. Ueber die Morphologie des Samens findet sich näheres in J. König's „Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe", IV, 1911, Seite 421 und 422, und in einer „Mitteilung der landwirtschaft-

[1]) J. Halberkann, Biochem Ztschr. Bd. 19, Heft 3—5, 1909.

lichen Versuchsstation Rostock“ [1]). Die gerbstoffhaltigen Farbstoffmassen im Kotyledonargewebe sind gleichzeitig der Sitz des Saponins [Fig. 14]. Diese sahen im mit Aether entfetteten Chloralhydrat-Präparat gelb aus, im Alkohol-Schwefelsäure-Präparat intensiv rotbraun. Nach der Barytmethode behandelt, sieht man sie mit Baryumchromat-Kristallen beladen.

Senegawurzel.

Die pharmazeutisch bekannte Wurzel von Polygala Senega enthält ihr Saponin ähnlich wie die Sarsaparille nur in der Rindenschicht und zwar vorzugsweise in der primären Rinde. Bei der Behandlung der vorher mit Aether entfetteten Querschnitte färbt sich fast das ganze Rindenparenchym schön orangegelb, in den äusseren Partien jedoch stärker als in den inneren. Nach dem Erlöschen der Orangefärbung sieht man das Saponin als sehr kleine, lichtbrechende, gelbbraune Partikelchen. Als solche ist auch in der Abbildung [Fig. 14] das Saponin wiedergegeben.

Kornrade-Samen.

Meine Versuche, das Saponin des Kornrade-Samens zu fixieren, sind bis jetzt fehlgeschlagen. Durch Färbung mit Alkohol-Schwefelsäure habe ich es deutlich nachweisen können. Der Kornradesamen enthält das Saponin nicht im stärkereichen Parenchym, wie Vogl[2]) behauptet, sondern im Embryo und den Kotyledonen. Diesen Befund machte auch Kruskal[3]).

---

[1]) Ueber Perillakuchen und Mowrahmehl von F. Honcamp, M. Reich und U. Zimmermann, Landw. Versuchsst. 1912.

[2]) Vogl: Zitiert: J. Möller: Mikroskopie der Nahrungs- und Genussmittel, 1905, Seite 249.

[3]) Kruskal: Ueber Agrostemma Githago, Arb. d. pharmakol. Inst. Dorpat 1891, 6, 116.

Kurz zusammengefasst ist das Resultat meiner Untersuchungen folgendes:

Das Saponin findet sich:

in den Seifenwurzeln in Rinde und Mark,
„ „ Sarsaparillwurzeln [ausser Hemidesmus] in der Rinde,
„ „ Senegawurzel in der Rinde,
im Assamtee-Samen } in allen Teilen des parenchymatischen Kotyledonargewebes,
„ Mowrah-Samen }
„ Kornrade-Samen nur im Embryo und den Keimblättern.

Die Eibildung der Musciden.

Von

Adolf Verhein-Rostock.

Vorläufige Mitteilung.

Eingegangen bei der Redaktion am 2. Oktober 1913.

Anschliessend an die Arbeiten von Günthert und Brauns über die Eibildung der Dytisciden resp. von Forficula auricularia begann ich auf Veranlassung von Herrn Prof. Will die Eibildung der Musciden zu untersuchen. Es handelte sich vor allen Dingen darum, die ersten Differenzierungsvorgänge von Ei und Nährzellen festzustellen und zweitens über die Beteiligung der Nährzellkerne an der Produktion des Nährmaterials ins Klare zu kommen. Als Objekt für diese Untersuchungen diente in erster Linie Musca vomitoria, sodann Sarcophaga carnaria und Musca domestica. Als Konservierungsflüssigkeit wurde durchweg das Zenkersche Gemisch verwandt, da andere Konservierungsmethoden keine guten Resultate lieferten. Die Herausnahme der Ovarien erfolgte unterhalb der Konservierungsflüssigkeit, die hierauf zur definitiven Fixierung durch das auf 70° C. erwärmte Gemisch ersetzt wurde. Wo die Konservierung von Puppen nötig war, erfolgte diese in toto auf gleiche Weise, nachdem die Puppenhülle entfernt war. Die Ovarien wurden in Schnittserien von 5 μ Dicke zerlegt und die Schnitte hauptsächlich mit Heidenhains Eisenhämatoxylin und Lichtgrün gefärbt.

Jedes Ovarium besteht aus ungefähr hundert Eiröhren. Es zeigt im Durchschnitt einen nierenförmigen Bau derart, dass der konkaven Seite die Endfäden der Eiröhren zugewendet sind, die

hier an der Peritonealhülle inserieren. Auf der konvexen Seite aber finden wir die Ausführgänge der einzelnen Eiröhren, die sich zu einem gemeinsamen Eileiter vereinigen. Bei einem Tiere, das kurz vor der Eiablage steht, besitzt jede Eiröhre unterhalb von Endfach und Endfaden zwei Eifächer, deren jedes neben den Nährzellen eine Eizelle enthält, die im untersten Fach kurz vor der Reife steht.

Betrachten wir dagegen eine junge Eiröhrenanlage, etwa aus einer Larve, die sich soeben verpuppt hat, so merken wir noch nichts von einer solchen Gliederung. Wir finden einen kurzen, gleichmässig dicken Schlauch, dessen Inhalt nur aus zwei Arten von Zellen besteht. Die einen sind etwas grösser und besitzen einen hellen bläschenförmigen Kern mit verhältnismässig wenig Chromatin. Es sind dies Keimzellen. Mitunter beobachten wir auch Teilungsstadien und haben dann die Multiplikationsteilungen der Ovogonien vor uns. Die andere Art von Zellen hat einen kleineren Plasmakörper und besitzt einen stark chromatinhaltigen Kern, der sich infolgedessen sehr stark färbt. Diese Zellen entsprechen den späteren Epithel- und Endfadenzellen; sie sind in weitaus grösserer Anzahl vorhanden als die Keimzellen. Es geht hieraus wohl schon hervor, dass auch bei den Musciden Epithelzellen und Keimzellen gesonderten Ursprungs sind.

Sehen wir uns nun den Schnitt durch das Ovarium einer Fliege an, die eben die Puppenhülle verlassen hat, so bietet sich uns bereits ein anderes Bild. Wir können hier oft schon drei Abschnitte unterscheiden, die sich mitunter auch mit Lichtgrün etwas verschieden färben. Der erste entspricht dem zuerst reifenden Ei. Es enthält auf diesem Stadium Zellen mit grossen runden Kernen, die einen Nukleolus und ausserdem fein verteiltes Chromatin enthalten. Bei genauerer Zählung finden wir, dass solch ein Fach im Höchstfall 16 Zellen enthält. Wir haben damit das erste Eifach vor uns, bestehend aus einer Eizelle und 15 Nährzellen. Und zwar ist die Eizelle stets diejenige Zelle, die dem Eileiter am nächsten liegt. Mitunter unterscheidet sie sich von den Nährzellen schon dadurch, dass ihr Plasma etwas heller ist. In den Kernen ist jedoch auf diesem Stadium noch kein Unterschied festzustellen. Bemerkenswert ist noch, dass die Eizelle mit den angrenzenden Nährzellen und die Nährzellen unter sich durch Plasmakommunikationen verbunden sind, infolgedessen die Zellgrenzen an diesen Stellen unterbrochen sind. Dies Stadium würde also

ungefähr dem Rosettenstadium von Dytiscus entsprechen. Andererseits lässt sich auch aus dem Bestehen dieser Zellverbindungen mit Sicherheit schliessen, dass diese 16 Zellen durch Teilung einer einzigen Mutterzelle entstanden sind. Treffen wir also im ersten Fach eine Teilung, so haben wir eine Teilung vor uns, die den Differentialmitosen von Dytiscus entspricht. Wir haben hier jedoch denselben Fall wie bei Forficula, nämlich, dass die Teilprodukte der Differentialmitosen sich zunächst vollkommen gleichen. Ein Verhalten derart, dass etwa die eine Zelle ein Plus an Chromatin mitbekommt, habe ich nie beobachten können. Die Differenzierung beginnt erst, wenn die Kerne der Teilprodukte eine Reihe von Veränderungen durchgemacht haben. Ausser diesen Zellen nun treffen wir im ersten Fach, wie überhaupt in der ganzen Eiröhre verstreut, Zellen mit ovalen Kernen, die bedeutend kleiner sind als die Kerne der Keimzellen. Es sind dies Epithelzellen. Doch zeigen sie vor der Hand auch im ersten Fach noch keine epitheliale Anordnung.

Im zweiten Abschnitt der Eiröhre treffen wir Zellen mit Kernen, die den oben beschriebenen Nährzellkernen gleichen. Häufig finden wir auch Kerne, die einen verknäuelten Chromatinfaden enthalten. Es sind dies Stadien, die der Differenzierung in Ei- und Nährzelle voraufgehen, und die wir weiter unten noch genauer beschreiben werden. Mitunter finden wir in diesem Fach auch Teilungsfiguren. Desgleichen lassen sich oft die Plasmaverbindungen zwischen den einzelnen Zellen nachweisen.

Das dritte Fach endlich entspricht der Endkammer der übrigen Insektenovarien. Es finden sich hier neben den Epithelzellkernen sehr zahlreiche grosse runde Kerne. In diesem Fach lassen sich auf gewissen Stadien auch sehr häufig Teilungsstadien beobachten. Und da diese Teilungsfiguren oft gruppenweise, z. B. vier oder acht Teilungsfiguren, zusammenliegend angetroffen werden, so lässt sich annehmen, dass es sich um Teilungen zusammengehöriger Zellen handelt, wie das im übrigen auch durch Plasmabrücken bewiesen wird. Es sind dies die Differentialmitosen. An diesen Mitosen lässt sich wiederum die oben schon erwähnte Tatsache festlegen, dass zwischen den Teilprodukten durchaus kein Unterschied besteht. Und ferner lässt sich feststellen, dass es sich bei diesen Mitosen um Ovogonienteilungen handeln muss, da zahlreiche Zählungen stets 12 Chromosomen ergaben, dieselbe Zahl, die Stevens schon als die Chromosomenzahl der Ovogonien von

Musca vomitoria angegeben hat. Diese Verhältnisse zeigen nun insofern einen Unterschied gegenüber denen von Forficula, als für diese Brauns festgestellt hat, dass hier die Differentialmitosen an den Ovozyten vor sich gehen.

Die weitere äussere Ausbildung der einzelnen Eifächer ist verhältnismässig einfach. Sie geht in der Weise vor sich, dass die Epithelzellen zunächst das erste Fach mit einem geschlossenen Epithel umgeben. An der Grenze des ersten und zweiten Faches findet sich zunächst eine breitere Zone, in die nach und nach auch Epithelzellen einwandern, bis das erste Fach allseitig von Epithel umgeben ist. Allmählich buchtet sich die Verbindungsstelle immer mehr ein. Es entsteht zunächst ein kurzer dicker Stiel, und auf späten Stadien wandelt dieser sich zu einer einzigen Reihe hintereinander gelegener Zellen um, so dass die Verbindung des ersten Eifaches mit dem zweiten eine ziemlich lockere geworden ist. Das zweite Eifach hat sich inzwischen ebenfalls mit einer Epithelhülle umgeben; auch an ihm bildet sich später eine schmale Verbindung mit dem Endfach aus. Und schliesslich kann sich (nach Weismann) von dem Endfach auf gleiche Weise noch eine dritte Eianlage abschnüren. Doch habe ich selbst das nie beobachtet.

Im folgenden sollen nun zunächst die Veränderungen betrachtet werden, die der Kern nach der Differentialmitose erleidet, bevor eine Differenzierung in Ei- oder Nährzelle zu beobachten ist.

Nach beendeter Teilung stellen die Kerne helle Bläschen dar, in deren Mitte sich die Chromosomen zusammenballen. Bald darauf verteilt sich das Chromatin mehr und mehr im Kern, und wir sehen mehrere Haufen, die aus feinen Chromatinkörnern bestehen. Diese Haufen sind jetzt unregelmässig im Kern verteilt und finden sich auch häufig der Peripherie angelagert. Ausserdem tritt öfter ein kompakter, runder Nukleolus auf. Zugleich beobachten wir, dass sich im Kern ein Fadenwerk ausbildet und dass die Chromatinkörner sich allmählich auf diese Fäden begeben. Schliesslich ist der Kern von einem dicht verknäuelten Faden durchzogen, der aus einzelnen Körnern zusammengesetzt erscheint. Daneben finden wir meistens den Nukleolus. Wir haben es hier anscheinend mit einer Parallelerscheinung zu der Fadenbildung zu tun, die bei der Ausbildung der Nährzellkerne von Forficula auftritt. Dann sehen wir, wie die Chromatinkörner auf diesen Fäden der Kernperipherie zuwandern und sich hier anhäufen.

Und nun beginnt eine intensive Chromatinabgabe des Kerns an das Plasma, indem das Chromatin in Brocken austritt. Mitunter sieht man auch ganze Chromatinkappen der Kernmembran aufsitzen. Das ausgetretene Chromatin scheint bald aufgelöst zu werden, denn nur vereinzelt trifft man weiter im Plasma noch solche nicht aufgelösten Partikeln. Sonst aber haben wir hier ähnliche Bilder, wie sie Popoff für die Chromatinabgabe der Fett- und Pericardialzellen von Musca beschreibt. Im Kerninnern finden wir nun den unregelmässig gestalteten Nukleolus und ein achromatisches Fadenwerk, in dessen Knotenpunkten sich einzelne Chromatinpartikeln verschiedener Grösse beobachten lassen. Bis zu diesem Stadium lassen sich Unterschiede zwischen dem künftigen Ei- und Nährzellkern nicht feststellen. Jetzt aber setzt die Differenzierung ein, die sich zunächst darin äussert, dass das Plasma der Eizelle etwas heller erscheint als das der Nährzellen, offenbar, weil die Chromatinabgabe seitens des Keimbläschens sich gegenüber der der Nährzellkerne stets in sehr bescheidenen Grenzen hält.

Verfolgen wir jetzt zunächst die weitere Ausbildung der Eizelle. Da fällt vor allem auf, dass sowohl Plasma wie Kern lange Zeit nur sehr langsam an Volumen zunehmen, während bei den Nährzellen besonders die Kerne sehr rasch wachsen. Erst recht spät, kurz vor Beginn der Dotterbildung, setzt ein intensives Wachstum besonders des Plasmas ein, so dass die Eizelle schliesslich ein grösseres Volumen besitzt als alle Nährzellen zusammengenommen. Das Keimbläschen dagegen erreicht nie ganz die Grösse der Nährzellkerne. Welche Veränderungen gehen nun inzwischen an dem Kern der Eizelle vor sich?

Da können wir zunächst die Persistenz des runden Nukleolus feststellen, die wir im Gegensatz zu den Nährzellkernen in dem Eizellkern in jedem Stadium beobachten können. Auch bleibt das achromatische Fadenwerk lange von Bestand. Das Bild, das uns ein junger Eikern darbietet, ist also kurz folgendes: Wir sehen einen bläschenförmigen, runden Kern vor uns, der von einem feinen Fadenwerk durchzogen ist. In den Maschen dieses Fadenwerkes finden wir einzelne verschieden grosse Chromatinpartikeln. Ausserdem tritt der Nukleolus klar hervor. An der Kernperipherie beobachten wir mitunter noch die Abgabe einzelner Chromatinteile. Im Plasma der Eizelle bleibt auch das abgegebene Chromatin noch längere Zeit sichtbar, bis es allmählich aufgelöst

wird, wobei es ein blasseres, verwaschenes Aussehen annimmt. Mitunter scheinen diese einzelnen Chromatinpartikeln auch noch durch feine Fäden verbunden, so dass es zuweilen den Eindruck macht, als ob das Fadenwerk des Kerns sich ins Plasma fortsetzt.

Die nächste Veränderung, die der Kern erleidet, besteht darin, dass er eine ovale Gestalt annimmt. Zugleich beobachten wir, dass das bisher unregelmässig in den Maschen verteilte Chromatin sich nahe der Mitte des Kerns neben dem Nukleolus anhäuft. Ob hier nun eine Vermehrung des Chromatins vorliegt wie bei den Nährzellkernen, oder ob es sich nur um eine Kondensierung der vorhandenen Chromatinmassen handelt, das vermag ich nicht zu entscheiden. Zugleich schwindet die Kernmembran, und der Kernsaft wird direkt durch das Plasma begrenzt. Auch jetzt treten ab und zu noch Chromatinpartikeln aus, wenigstens findet man im Plasma in der unmittelbaren Nähe des Kerns dunkle Körner, die oft der Kernmembran parallel gelagert sind. Mitunter trifft man auch der Keimbläschenoberfläche direkt angelagert konzentrische dunkel gefärbte Zonen, die kaum anders als aus einer Chromatinabgabe seitens des Kerns hervorgegangen zu deuten sind.

Inzwischen hat sich das Chromatin im Kern immer mehr zusammengeballt und bildet ein Konglomerat von einzelnen grösseren und kleineren intensiv gefärbten Brocken. Es kommt auch vor, dass es zu einer einzigen kompakten Masse verschmilzt, in die sogar der Nukleolus mit einbezogen werden kann. Meistens aber liegt er frei im Kern. Auch das vorhin achromatische Gerüstwerk färbt sich mitunter mit Kernfarbstoffen. Im Plasma sieht man in dieser Zeit dunkle Körner auftreten. Doch brauchen diese nicht aus dem Eikern zu stammen, da inzwischen schon die Einwanderung von Nährmaterial aus den Nährzellen eingesetzt hat.

Die weiteren Veränderungen des Eikerns beginnen jetzt damit, dass sich in ihm ein feinmaschiges Liningerüst ausbildet. Zugleich tritt wieder eine Kernmembran auf, und der ganze Kern vergrössert sein Volumen beträchtlich. Er hat jetzt die typische Gestalt des Keimbläschens angenommen. In den Knotenpunkten des Liningerüstes findet man zunächst noch feine Chromatinkörner, die aber auch bald schwinden. Der kompakte Chromatinhaufen, der bisher neben dem Nukleolus vorhanden war, beginnt nun gleichfalls sich aufzulösen. Er zerfällt in eine Anzahl verschieden grosser Kugeln, die sich anfangs noch lebhaft färben und zuweilen durch dicke Stränge miteinander verbunden sind.

Allmählich verlieren diese Kugeln aber teilweise ihre Färbbarkeit; sie sehen wie angefressen aus, da sie sich nur noch in einzelnen Partien mit Kernfarbstoffen färben. Schliesslich treffen wir nur noch vereinzelt solche schwarze Körper; die meisten sind jetzt grün gefärbt und unterscheiden sich nur noch wenig von dem Liningerüst. Diese Veränderung in der Farbe müssen wir wohl auf einen chemischen Prozess zurückführen. Und sie ist gewiss nicht ohne Bedeutung, denn inzwischen hat die Dotterbildung eingesetzt, an der das Keimbläschen anscheinend lebhaften Anteil nimmt. Als Vorbereitung hierzu ist es wohl anzusehen, wenn das Plasma in der Umgebung des Keimbläschens besonders dunkel gefärbt erscheint. Dann wird an manchen Stellen die Membran undeutlich. Und hier sieht man Dotterkörner liegen, von denen man nicht mit Sicherheit sagen kann, ob sie im Plasma liegen oder noch zum Teil ins Keimbläschen hineinragen. Zugleich treten die Dotterschollen auch überall im Plasma auf. Auf späteren Stadien sieht man auch im Keimbläschen oft dunkle Körner liegen, deren Dotternatur jedoch zweifelhaft ist. Doch machte ich eine andere Beobachtung, die die Anteilnahme des Keimbläschens an der Dotterbildung klarer beleuchtet. Es traten an manchen Stellen der Membran Vorwölbungen auf, die mit kleinen dunklen Körnern besetzt waren; da sich nun unter den Dotterkörnern in der Nähe des Keimbläschens viele fanden, die gerade so gefärbt und so gross waren wie diese Körner oder nur wenig grösser, so kann man wohl annehmen, dass sie vom Keimbläschen produziert wurden. Schliesslich sei noch erwähnt, dass mitunter auch knospenartige Ausbuchtungen des Keimbläschens beobachtet wurden, in denen sich ein dunkler Körper befand, der völlig den Dotterkörnern glich. Ob dies nun eine weitere Art ist, die wie das Keimbläschen Dotter produziert, oder ob es sich hier um zufällige Bildungen handelt, das kann ich nicht entscheiden.

Zugleich sei hier angefügt, dass ich eine direkte Anteilnahme des Epithels an der Dotterbildung nicht feststellen konnte. Doch fanden sich in der Nähe des Epithels oft eine Reihe besonders grosser Dotterschollen, so dass sich ein gewisser Einfluss der Epithelzellen auf ihre Bildung nicht strikte ableugnen lässt.

Wenn schliesslich die Chorionbildung beendet ist, so sehen wir das Keimbläschen an der seitlichen Wand des Eies am vorderen Ende desselben liegen. Es hat sich in seiner Gestalt nicht weiter geändert.

Im Kerninnern treffen wir noch immer den Nukleolus, das Liningerüst und mitunter auch noch mehrere miteinander verbundene dunkle Kugeln. Es sind das die Reste des oben erwähnten Chromatinballens. Die weiteren Schicksale des Keimbläschens bei der Eireife und Befruchtung habe ich nicht verfolgt.

Kehren wir jetzt zu dem indifferenten Stadium zurück und verfolgen den Weg, den die Nährzelle bei ihrer Entwicklung einschlägt. Hier können wir zunächst konstatieren, dass das Plasma der Nährzellen verhältnismässig wenig wächst, während der Kern fortwährend an Volumen zunimmt. Am Kern fällt vor allem die fortdauernde Abgabe von Chromatin an das Plasma ins Auge und damit Hand in Hand gehend eine enorme Vermehrung des vorhandenen Chromatins. Zunächst wird das Chromatin noch in Form von grösseren Brocken abgegeben, später aber in der Hauptsache in Gestalt feiner Körnchen.

Die erste Veränderung, die der Nährzellkern erleidet, besteht darin, dass der Nukleolus eine unregelmässige Gestalt annimmt. Es sieht dann aus, als ob er aus lauter feinen Körnchen zusammengesetzt wäre. Er wächst immer mehr heran und zugleich erscheint auch das noch vorhandene Liningerüst reichlich mit Chromatin besetzt, das auf ihm zur Peripherie strömt, wo es ins Plasma austritt. Es muss also schon auf diesem Stadium eine intensive Chromatinvermehrung stattfinden. Doch lässt sich über die Art und Weise, wie sie vor sich geht, noch nichts aussagen. Das ist erst auf einem etwas späteren Stadium möglich. Der Kern ist dann noch mehr herangewachsen, und wenn wir ihn mit der stärksten Vergrösserung betrachten, so haben wir folgendes Bild vor uns: In der Nähe der Kernperipherie sowie überall im Innern haben wir die typischen Bilder der Chromatinvermehrung. Wir finden Dyaden, Tetraden und manchmal auch Polyaden. (Vergl. Forficula.) D. h. also, die Chromatinkörner vermehren sich durch Teilung. Dass diese Vermehrung eine sehr rege sein muss, geht aus der grossen Zahl hervor, in der diese Teilungsstadien auftreten, und wir verstehen auch, warum diese starke Vermehrung stattfindet. Denn es lässt sich zugleich eine lebhafte Chromatinabgabe an das Plasma konstatieren. Die Kernmembran ist teilweise mit dunklen Körnchen besetzt, teilweise ganz geschwunden, und das ganze Plasma ist erfüllt von verwaschenen Körnern, die die Grösse der einzelnen Chromatinkörner im Kern besitzen. Mitunter treffen wir auch Dyaden, Tetraden und

Polyaden im Plasma, die dann aber meistens schon in Auflösung begriffen sind, was sich durch eine blassere Färbung kundgibt. Durch die Auflösung der Chromidien ist die ganze Färbung des Plasmas bedeutend dunkler geworden, und die Nährzellen unterscheiden sich dadurch ebenfalls von der Eizelle. Wir haben hier denselben Prozess vor uns, wie bei Dytiscus und Forficula: Die Nährzellkerne geben Chromatin ab, das entweder sofort als Nährmaterial an die Eizelle weiter gegeben oder zunächst im Plasma der Nährzelle gespeichert wird. Letzteres ist bei Musciden der Fall. Auch vermissen wir hier die Periodizität in der Chromatinvermehrung, wie sie bei Dytiscus sich fand. Bei Musca ist die Chromatinvermehrung ebenso wie bei Forficula kontinuierlich.

Inzwischen spielt sich in den Nährzellkernen noch ein anderer Prozess ab: Die Bildung der „Chromatinraupen". Es sind dies eigentümliche Formationen des Chromatins, die zu gewissen Zeiten in allen Nährzellkernen von Musca auftreten. Die Bildung dieser eigentümlichen Gebilde beginnt damit, dass bei gewissen sich teilenden Chromatinkörnern die Teilprodukte in Zusammenhang bleiben. Es reihen sich mehrere solcher Teilungsfiguren aneinander, so dass schliesslich ein Band entsteht. Wir sehen dann einen breiten blasser gefärbten Strang, auf dem wir Tetraden, Dyaden und auch kettenförmig miteinander verbundene Chromatinkörner finden. Allmählich treten auf diesem Band, vorzugsweise an den Enden, Verklumpungen des Chromatins ein. Dieser Prozess macht immer weitere Fortschritte, und bald haben wir ein Gebilde mit unregelmässigen Konturen vor uns, das zunächst noch aus einzelnen grösseren Körpern sich zusammensetzt, schliesslich aber einen völlig homogenen Eindruck macht. Neben den Raupen finden sich im Kern immer noch vereinzelt Dyaden und Tetraden. Was nun diese Chromatinraupen eigentlich sind, darauf soll erst in der ausführlichen Darstellung dieser Untersuchungen eingegangen werden. Es möge hier der Hinweis genügen, dass wir es vielleicht mit einem Analogon der „Lampenbürstenchromosomen" der Amphibien zu tun haben. Ferner mag auch noch erwähnt werden, dass gewisse Anzeichen darauf schliessen lassen, dass sie Doppelchromosomen darstellen. So treten bei der Auflösung oft Längsspalte in ihnen auf, und sie nehmen mitunter die Form grosser Tetraden an, die auffallend an die Tetraden bei den Reifeteilungen der

Eier erinnern. Es wäre also die Möglichkeit vorhanden, dass die Raupenbildung den Anlauf zu einer Reifungsteilung darstellt, die aber später unterdrückt wurde, da die Nährzellen ja zugrunde gehen.

Dieses Stadium dauert aber nicht sehr lange an. Die Raupen fallen bald der Auflösung anheim. Bevor jedoch dieser Vorgang geschildert wird, soll noch einer anderen auffallenden Tatsache Erwähnung getan werden. Wenn man auf diesem Stadium die der Eizelle anliegenden Nährzellkerne betrachtet, namentlich solche, die eben angeschnitten sind, so bemerkt man an ihnen eine eigentümliche Struktur. Die oberste Schicht der Lininfasern konvergiert nach der Plasmakommunikation hin, die die Eizelle mit der betreffenden Nährzelle verbindet. Diesen merkwürdigen Verlauf habe ich an mehreren Schnittserien gleichen Stadiums beobachtet, so dass er keinesfalls ein Zufallsprodukt ist. Wenn man nun in Betracht zieht, dass die Kerne kugelförmig sind, so ergibt sich für die äusserste Schicht der Lininfasern eine eigentümliche Anordnung. Man könnte sie am besten mit einem Trichter vergleichen, dessen Spitze in der Plasmakommunikation mündet. Zugleich treten im Plasma der Eizelle auch dunkle Körner, zuweilen sogar Dyaden und dergleichen auf. Diese eigenartige Anordnung macht durchaus den Eindruck, als ob von der Eizelle anziehende Kräfte ausgehen, die das zur Einwanderung bestimmte Chromatinmaterial der Nährzellkerne in der beschriebenen Weise strahlenförmig zur Eizelle anordnen. Dieser Eindruck wird noch dadurch vermehrt, als man diese Strukturbilder nur an denjenigen Nährzellkernen beobachtet, die unmittelbar der Eizelle anliegen.

Kehren wir nun zu der Auflösung der Chromatinraupen zurück. Wir treffen dabei teils die oben erwähnten grossen Tetraden, teils zerfallen die Raupen auch direkt. Und zwar ist das Endprodukt dieses Zerfalls eine grosse Anzahl von Körnern. Zunächst liegen sie noch haufenweise beisammen, bald aber verteilen sie sich im ganzen Kern. Jetzt beginnt aufs neue eine intensive Chromatinvermehrung. Wir finden wieder Dyaden, Tetraden, mitunter auch ganze Ketten von perlschnurförmig aneinander gereihten Körnern. Zugleich bemerken wir eine rapide Grössenzunahme des Kerns. Im Kern spannt sich jetzt ein Liningerüst aus, das die einzelnen Körner und Körnergruppen miteinander verbindet. Dies Gerüst besetzt sich immer mehr mit Körnern. Mitunter geht die Vermehrung so schnell vor sich, dass wieder

ganze Haufen beieinander liegen, die teilweise einen homogenen Körper bilden. Fortwährend wird auch Chromatin an das Plasma abgegeben, teils in Körnerform, teils auch in so feiner Verteilung, dass der Kern mit einem dunklen Saum umgeben erscheint. Eine Kernmembran ist meistens noch nicht vorhanden. Das Plasma ist von dem gespeicherten Nährmaterial tiefdunkel gefärbt.

Auf diesem Stadium ungefähr beginnt nun auch das starke Anwachsen des Plasmas und die Dotterbildung in der Eizelle. Inwiefern die Nährzellen daran beteiligt sind, das sehen wir, wenn wir die Verbindungsstellen von Ei und Nährzellen näher untersuchen. Wir sehen dann, wie aus der Nährzelle das Nährmaterial in die Eizelle einströmt und hier hinter der Plasmakommunikation sich wie eine dunkle Wolke ausbreitet, die sich deutlich von dem helleren Eiplasma abhebt. Dies Einströmen des Nährmaterials dauert nun solange, wie das Wachstum des Eies anhält. Und genau solange dauert die Chromatinvermehrung und -Abgabe beim Nährzellkern.

Fassen wir einen etwas älteren Kern ins Auge, so sehen wir zunächst, dass seine Begrenzung nicht mehr so regelmässig ist wie früher. Oft finden wir Buchten und Vorsprünge, wenngleich dies auch lange nicht so zutage tritt wie bei Forficula. Bisweilen treffen wir auch einen doppelten Kernkontur wie bei Dytiscus. Dies alles zeigt, dass hier ganze Partien des Kerns assimiliert werden; wenn dies auch nicht unter so auffallenden Erscheinungen vor sich geht wie namentlich bei Forficula, so beruht dies einerseits wohl auf der grossen Zahl der Nährzellen, andererseits auf der so früh beginnenden und nie ganz unterbrochenen Chromatinabgabe. Die älteren Kerne sind teilweise noch sehr chromatinreich. So finden wir welche, die neben den Chromatinkörnern grössere Brocken enthalten. Diese erscheinen mitunter homogen, mitunter sehen sie auch korrodiert aus, so dass es den Anschein hat, als ob sie aufgelöst würden. Jedenfalls fährt der Nährzellkern solange mit der Produktion von Nährmaterial fort, bis das Ei ausgewachsen ist und dann eine Lamelle von Follikelzellen Ei- und Nährfach trennt. Ob die Nährzellen auch direkt Dotter produzieren, habe ich nicht entscheiden können. Indirekt sind sie aber neben dem Keimbläschen sicher an der Dotterbildung beteiligt. Denn diese beginnt ja erst, wenn das Einströmen des Nährmaterials in die Eizelle eingesetzt hat.

Die Vergleichung meiner Resultate mit den bisher erzielten, vor allen Dingen mit den Verhältnissen bei Dytiscus und Forficula, sowie die nähere Diskussion der oben berührten Fragen der Raupenbildung usw. muss ich auf die eingehende Darstellung meiner Untersuchung verschieben.

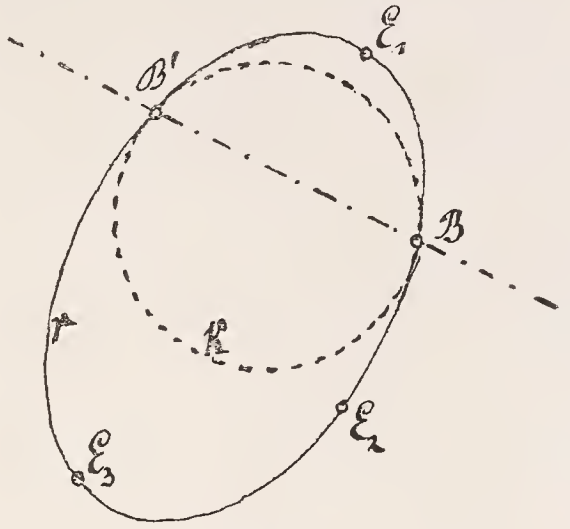


Fig. 1.

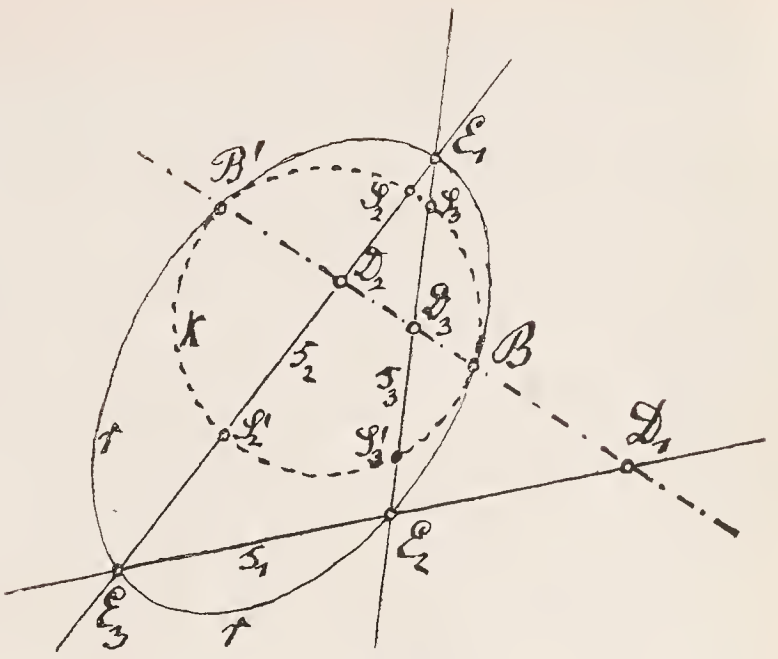


Fig. 2.

Fig. 3.

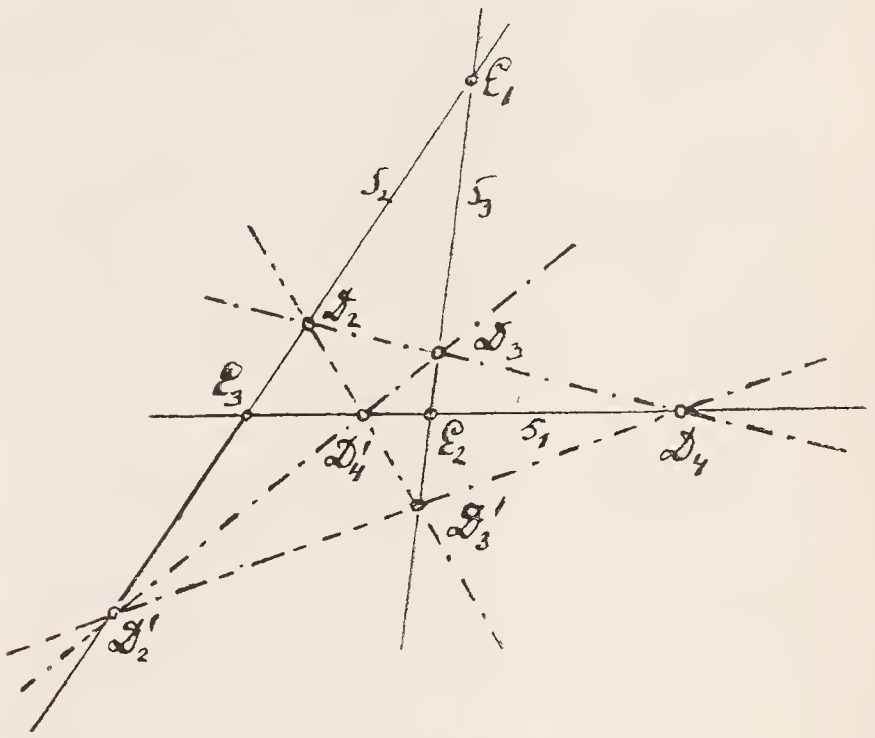


Fig. 4.

Fig. 5.

Fig. 6.

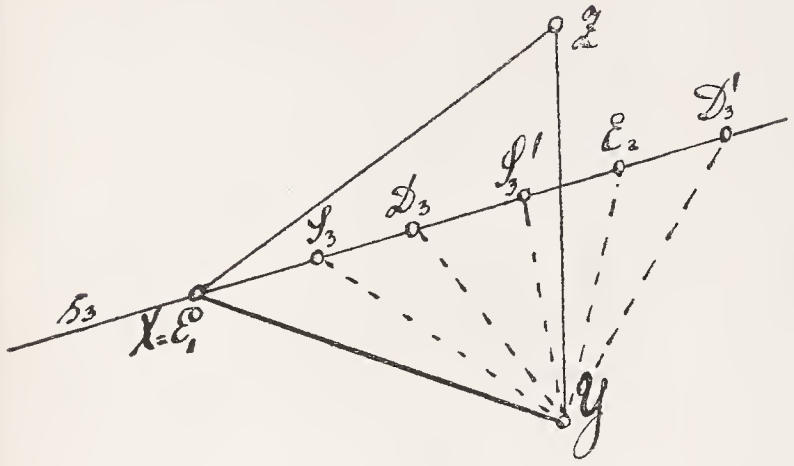


Fig. 7.

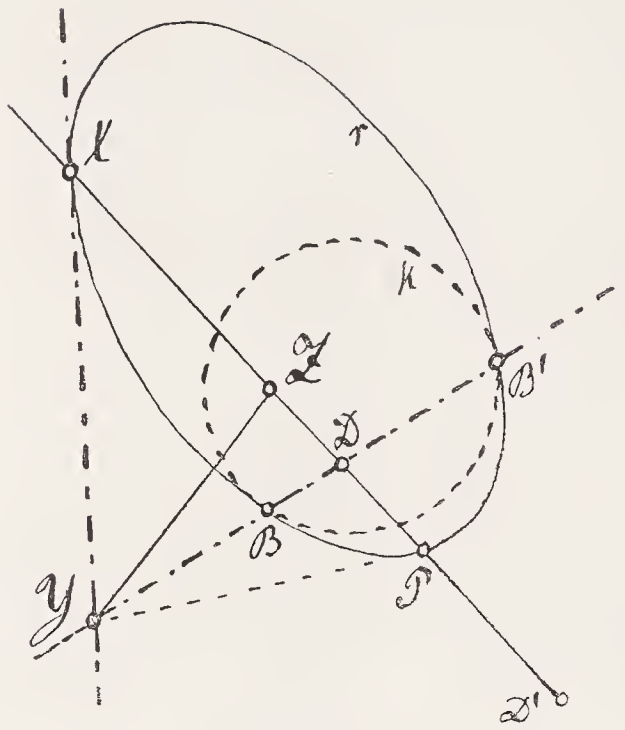


Fig. 8.

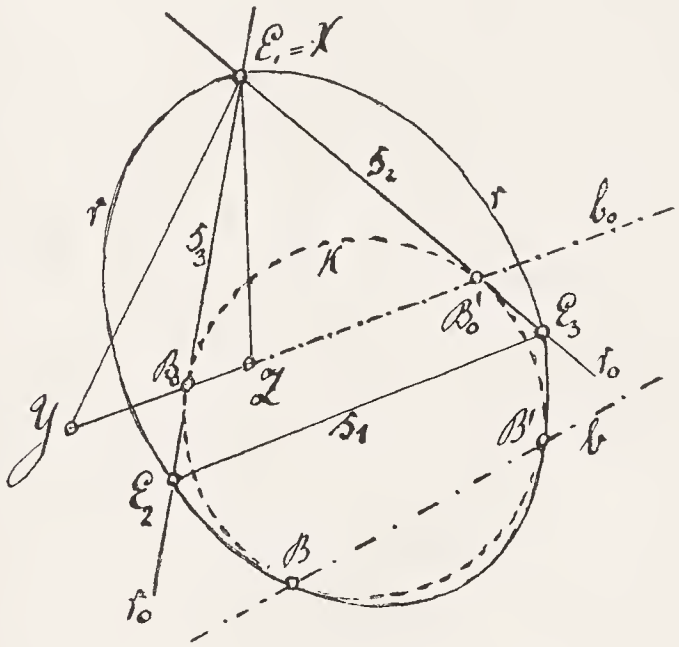


Fig. 9.

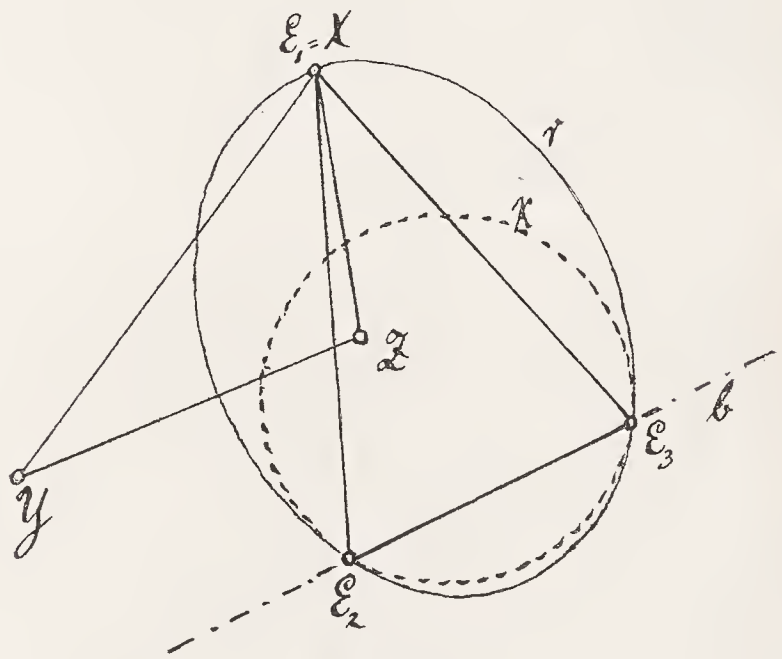


Fig. 10.

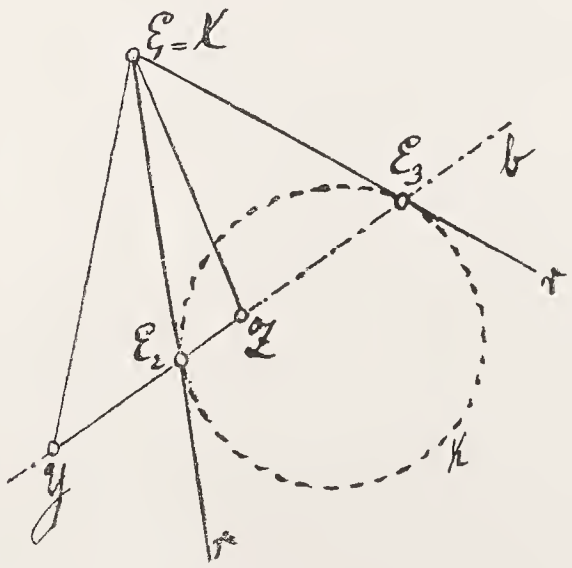


Fig. 11.

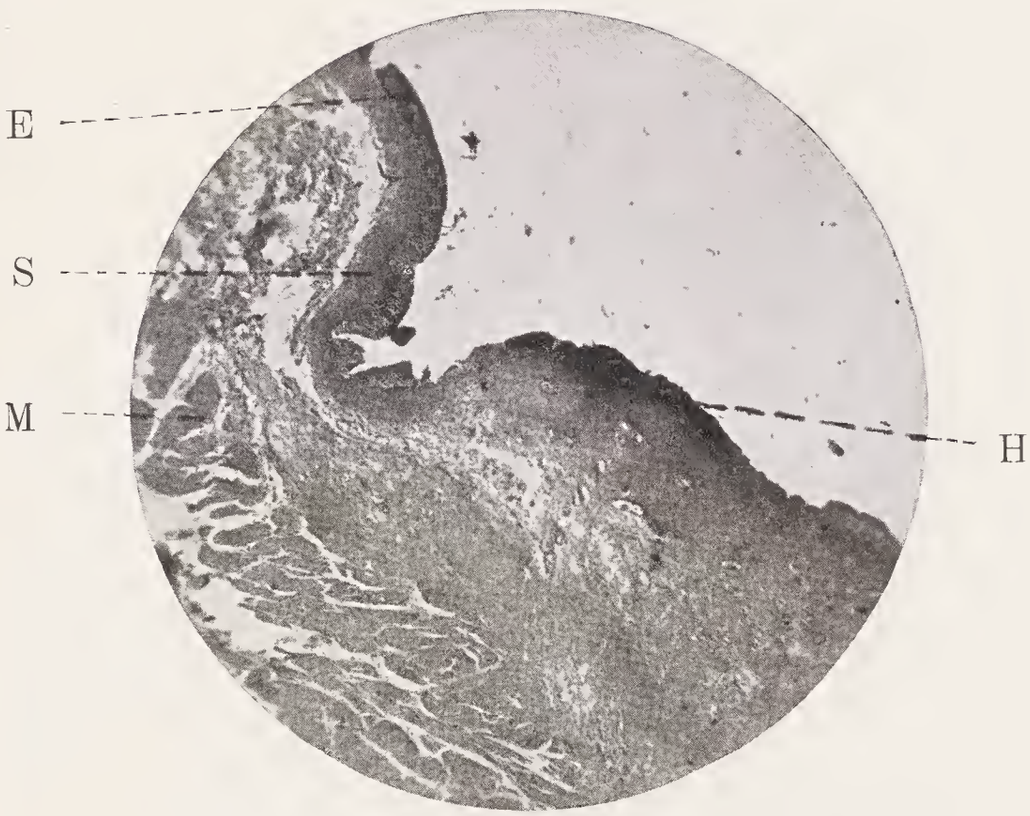


Fig. 1.

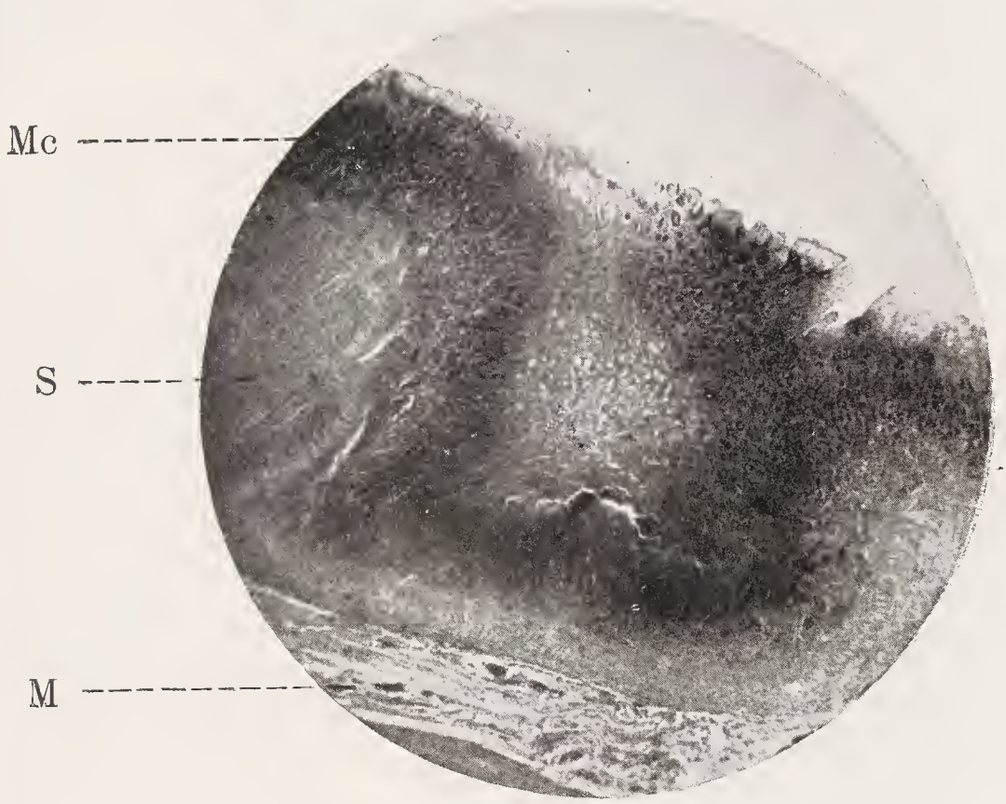


Fig. 2.

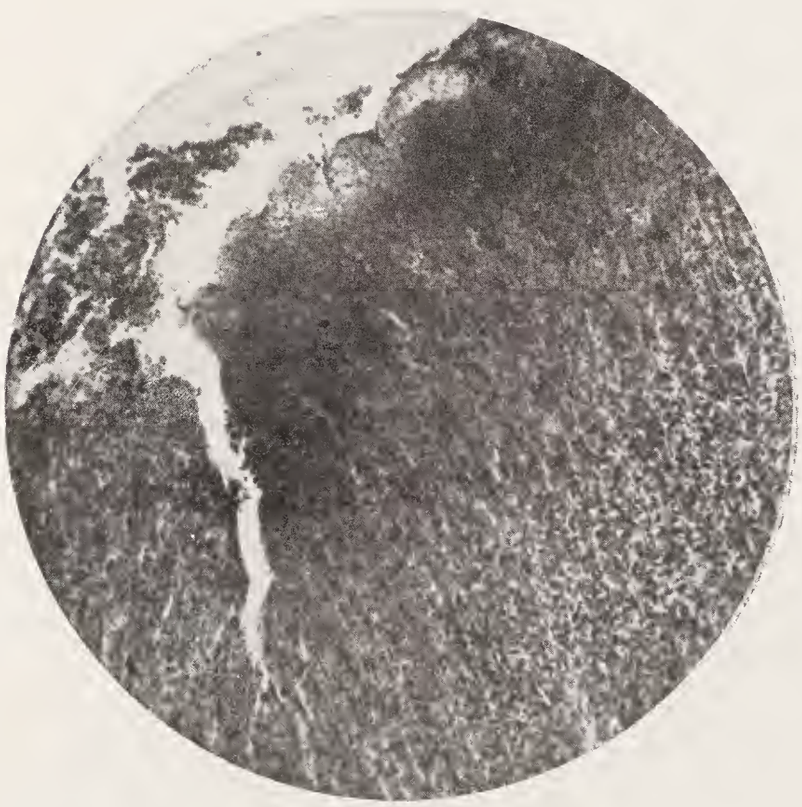


Fig. 3.

Fig. 4.

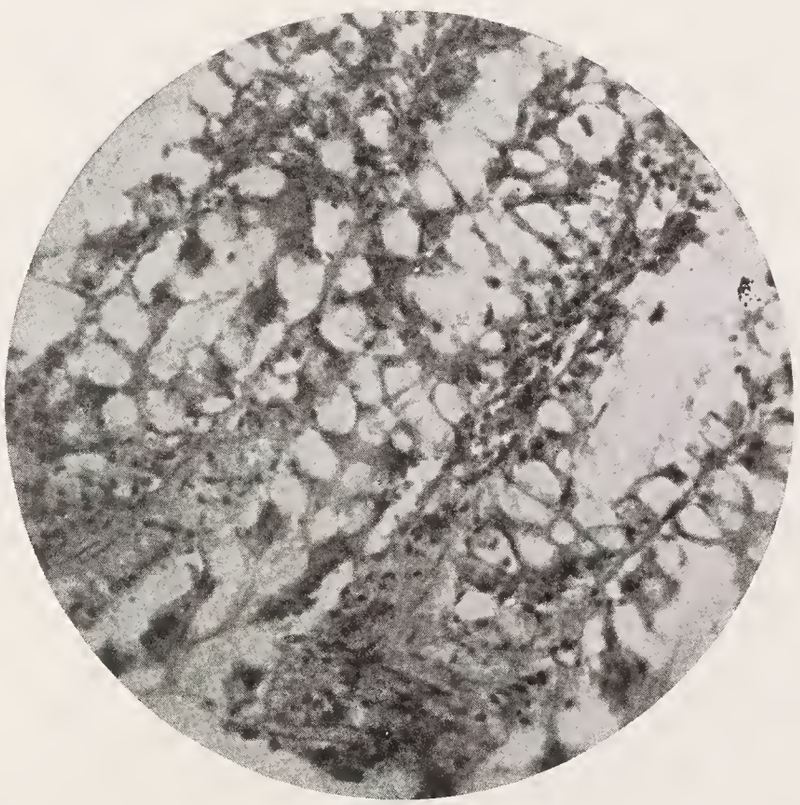
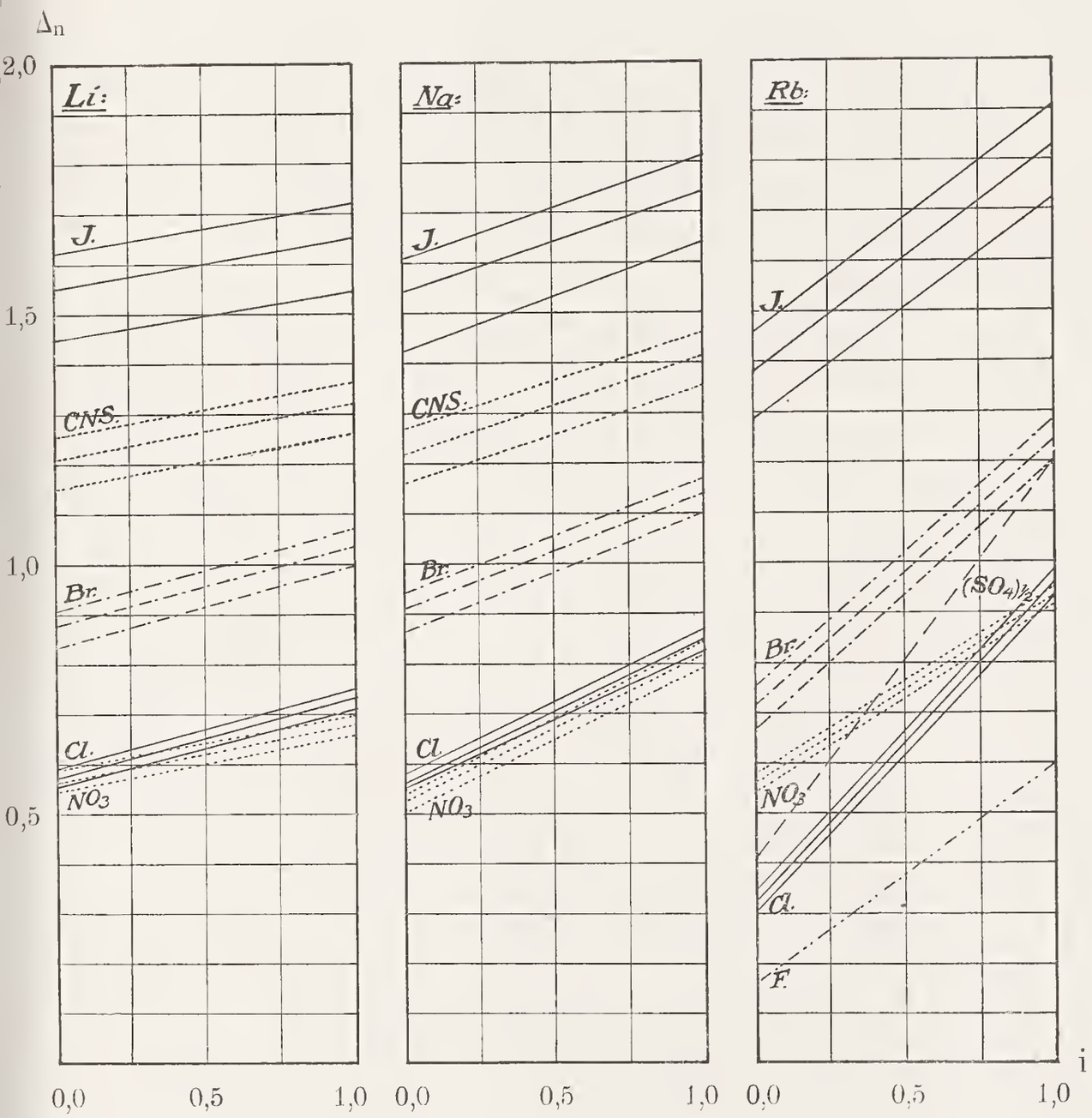
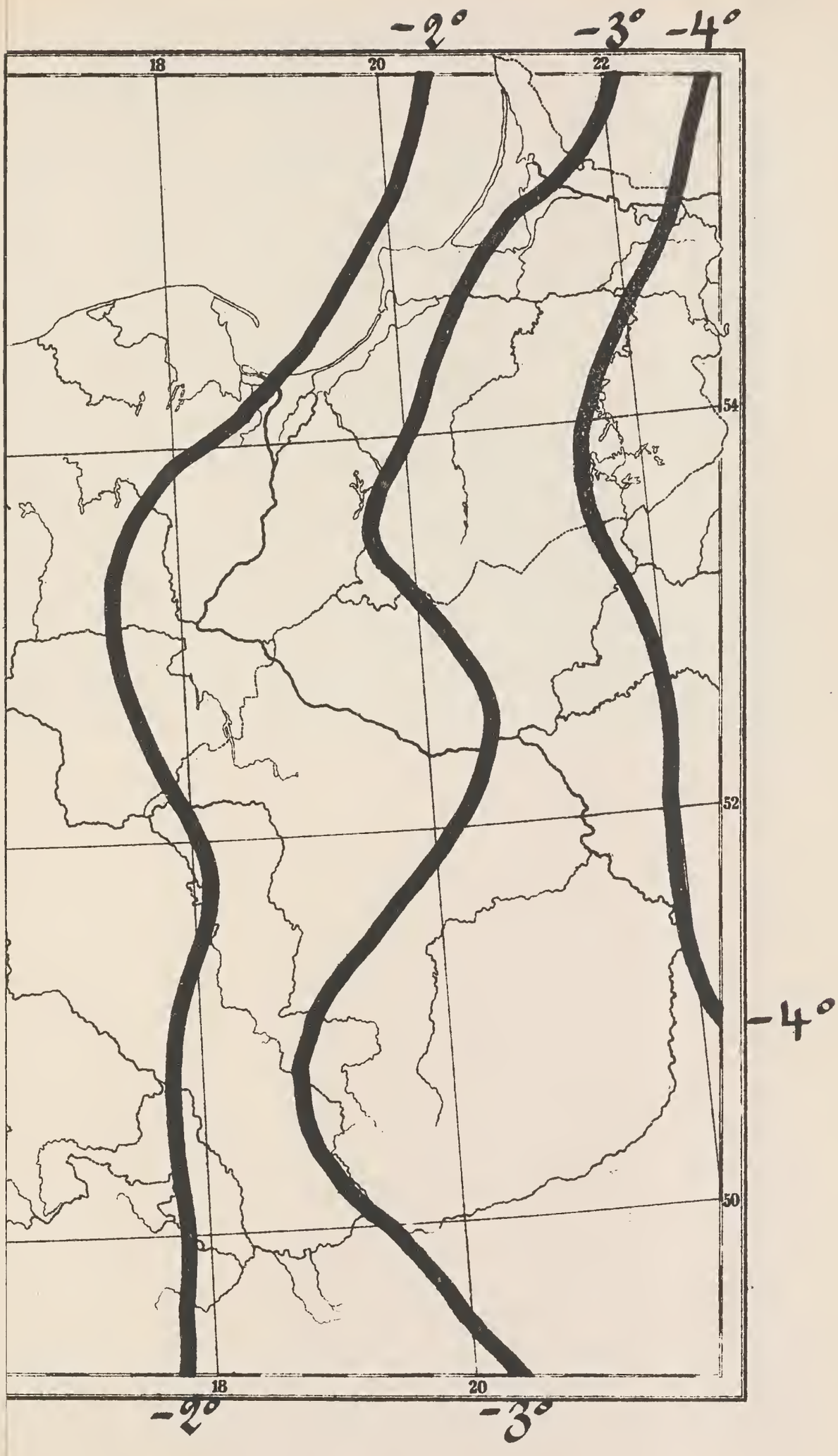


Fig. 5.


Δn
2,0
1,5
1,0
0,5
Li:
J.
CNS.
Br.
Cl.
NO3
Na:
J.
CNS.
Br.
Cl.
NO3
Rb:
J.
(SO4)½
Br.
NO3
Cl.
F
i
0,0
0,5
1,0
0,0
0,5
1,0
0,0
0,5
1,0

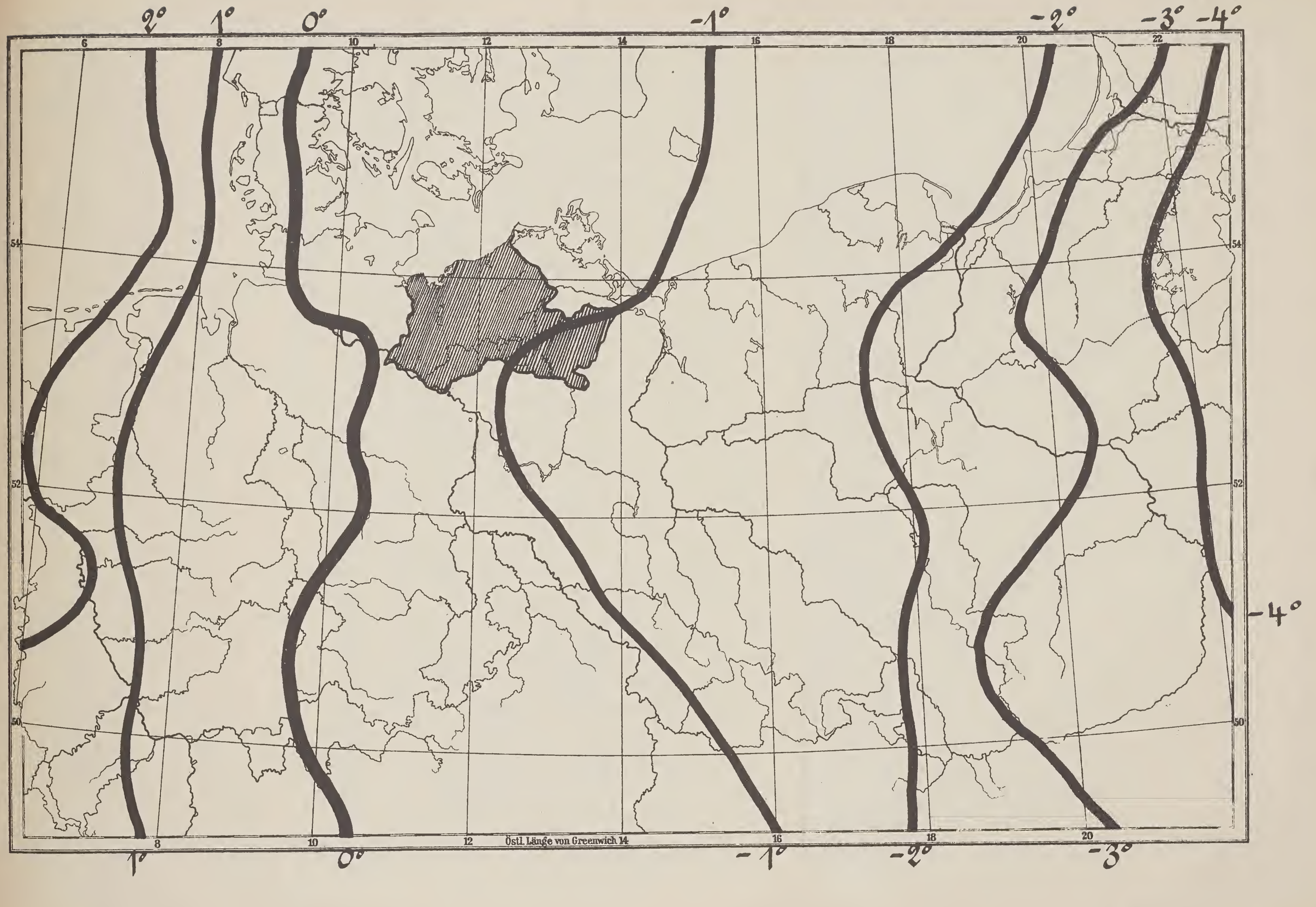
1-1900.

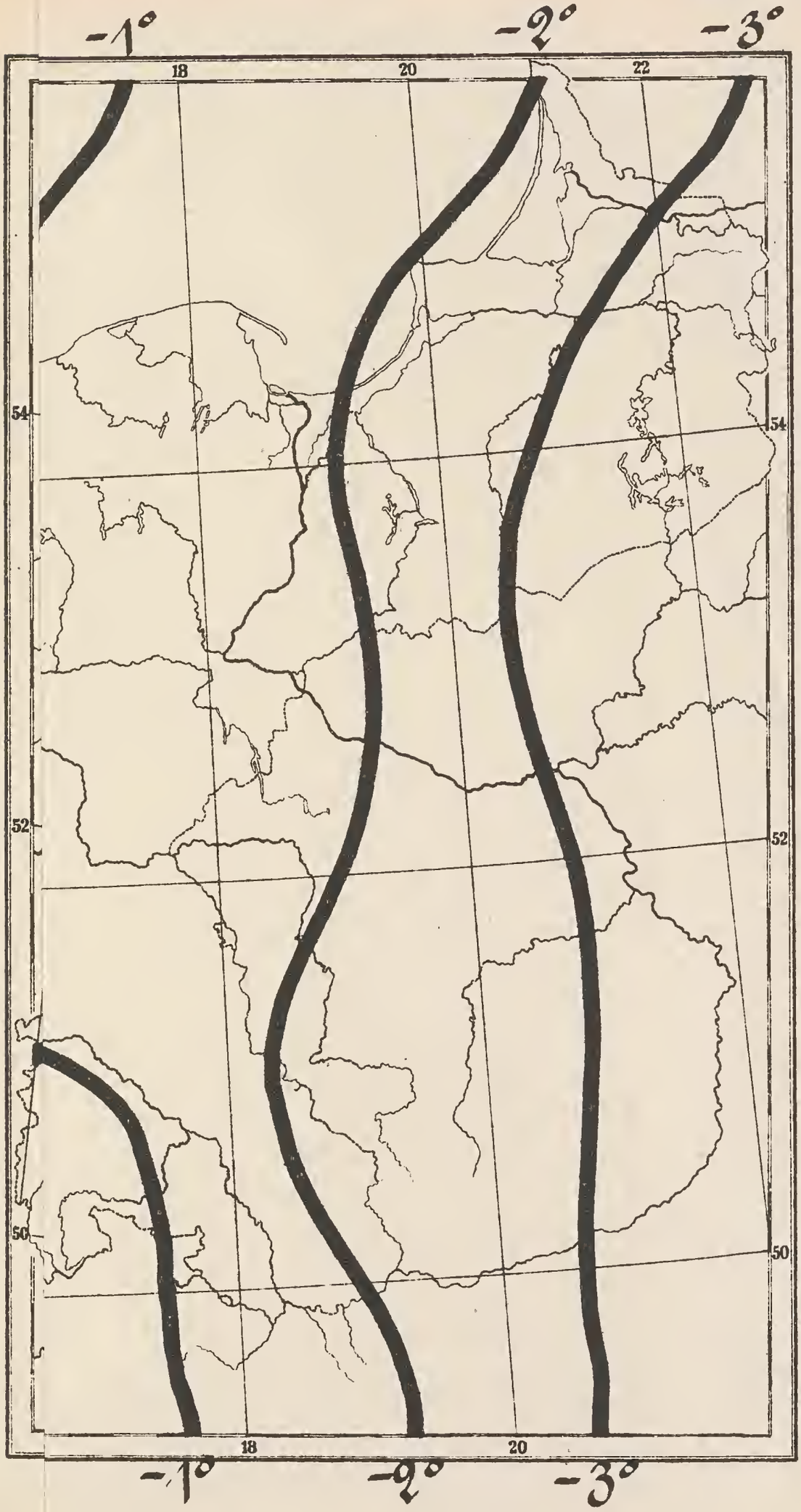
Tafel 7.



Isothermen des Januar 1851-1900.

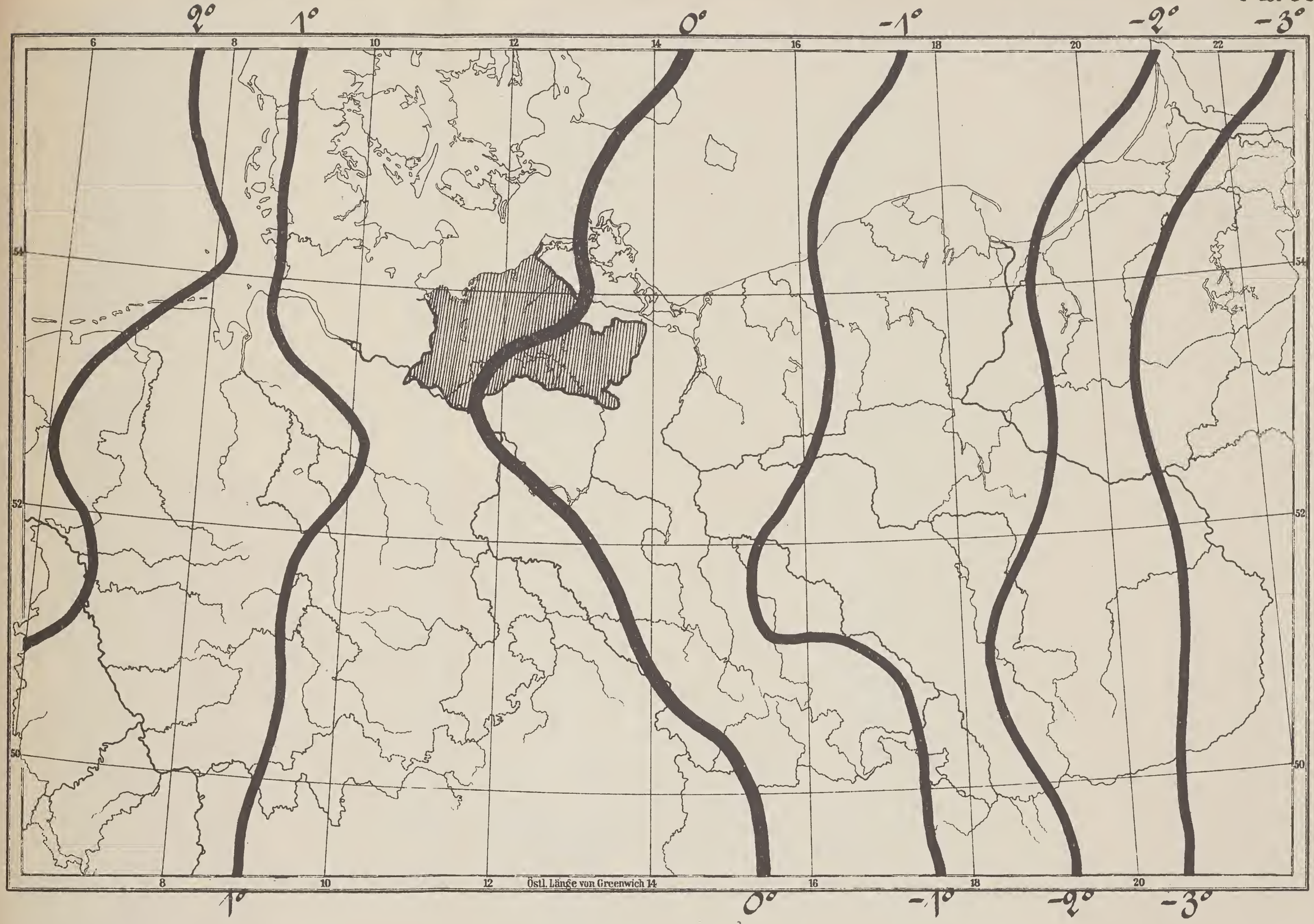
Tafel 7.




-1°
-2°
-3°
18
20
22
54
52
50
2°
18
20
-1°
-2°
-3°

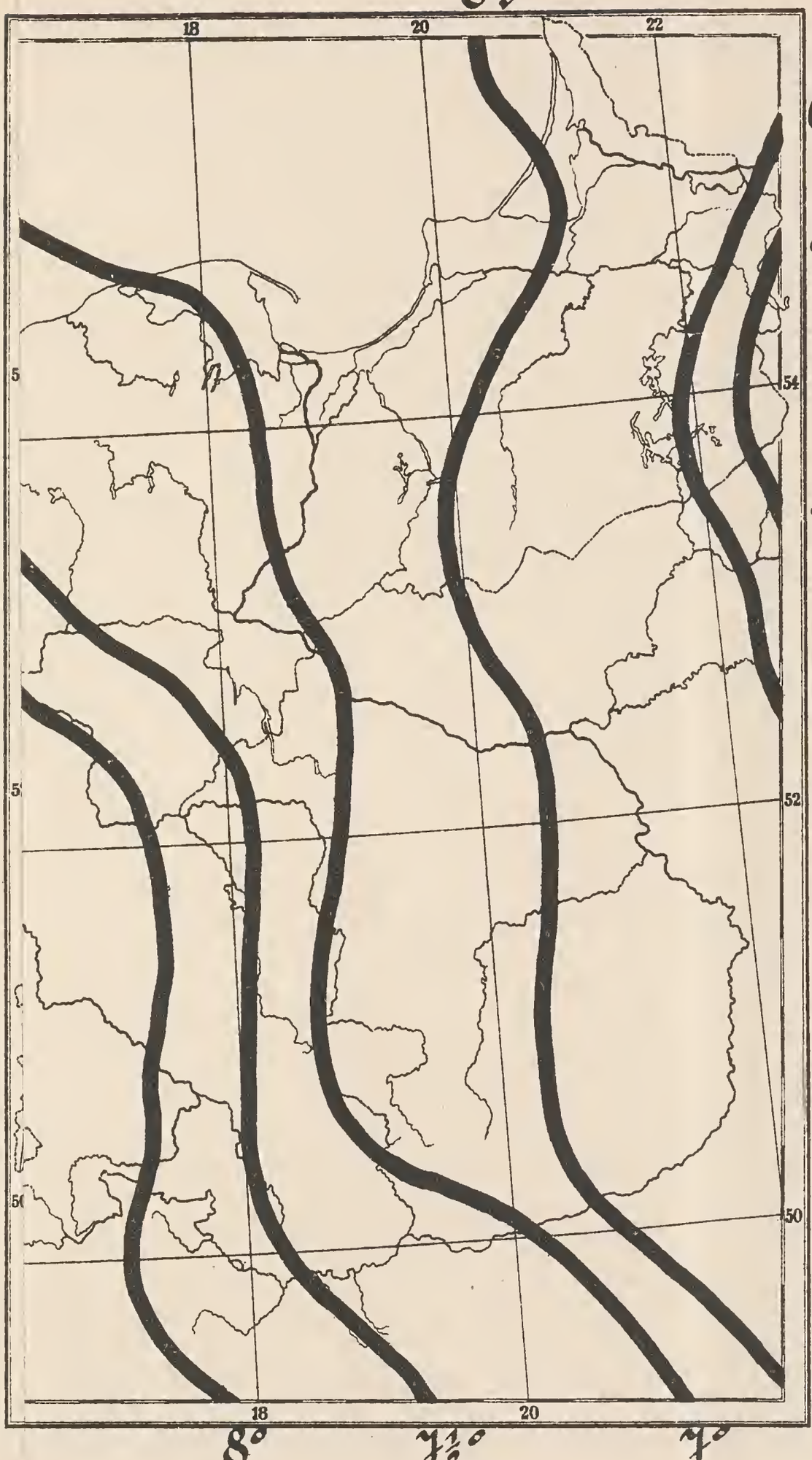
Isothermen des meteorologischen Winters [1. Dez. – 28. (29.) Febr.] 1851–1890.

Tafel 8.



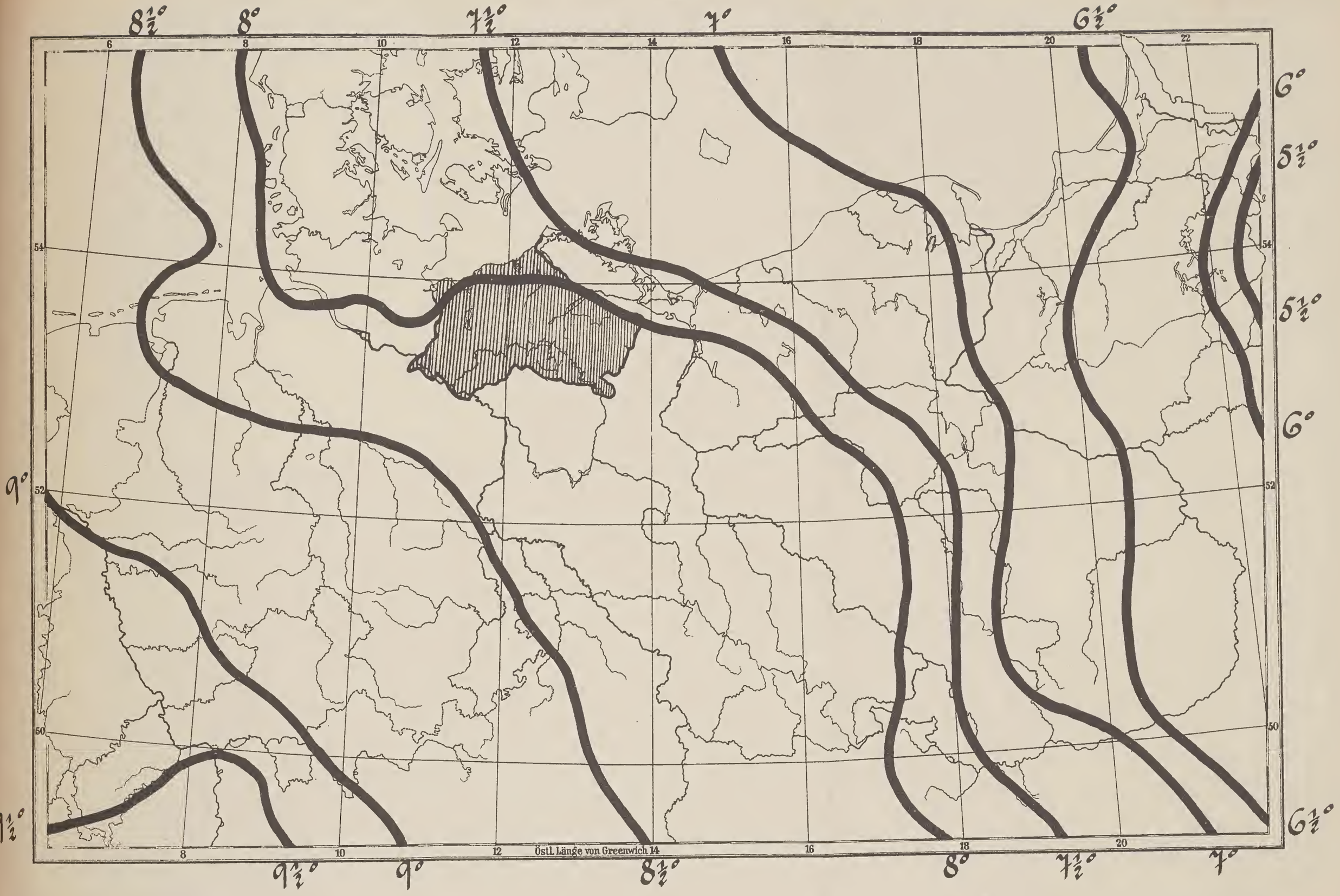
51–1900.

Tafel 9.



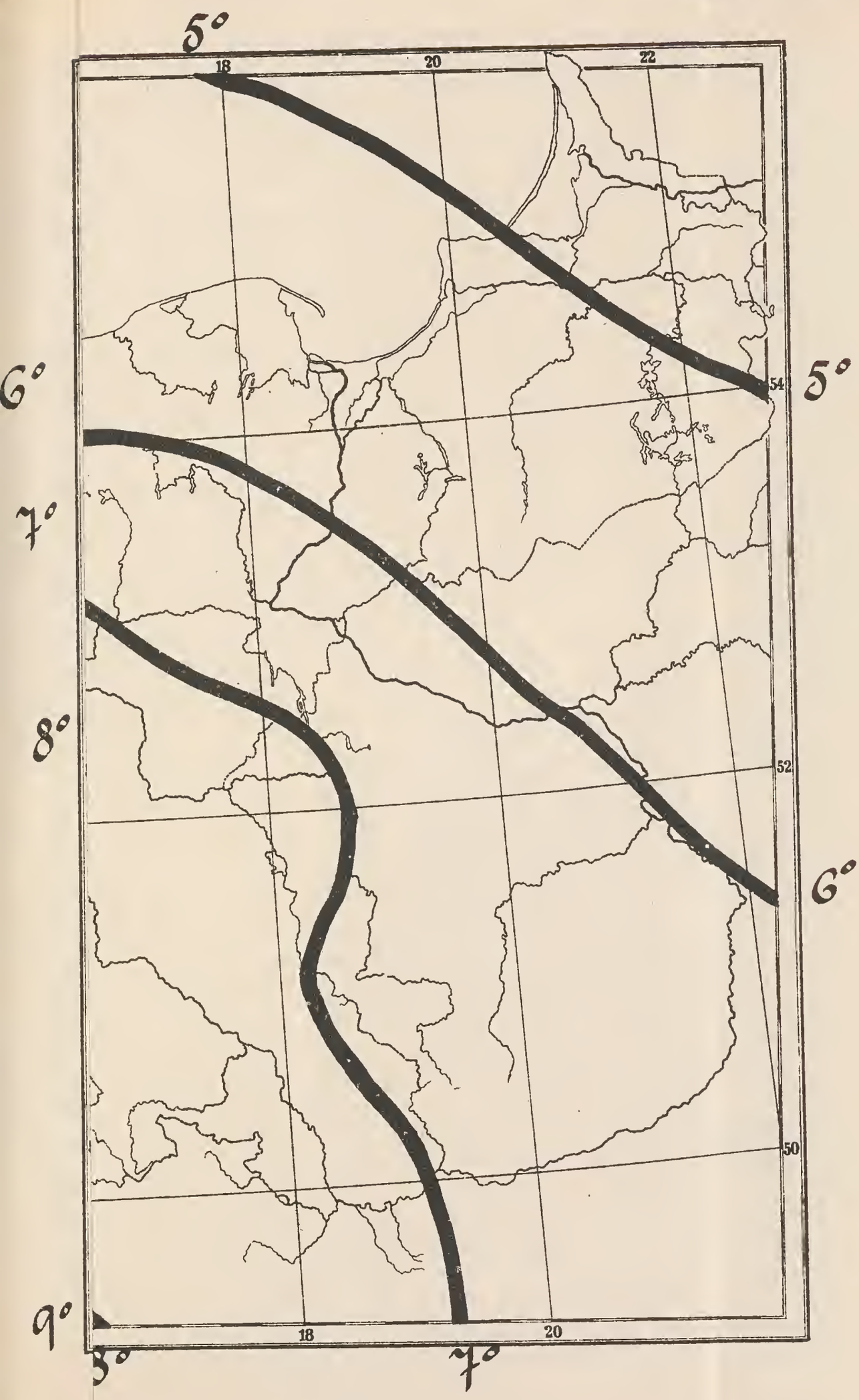
Isothermen im Jahre 1851–1900.

Tafel 9.



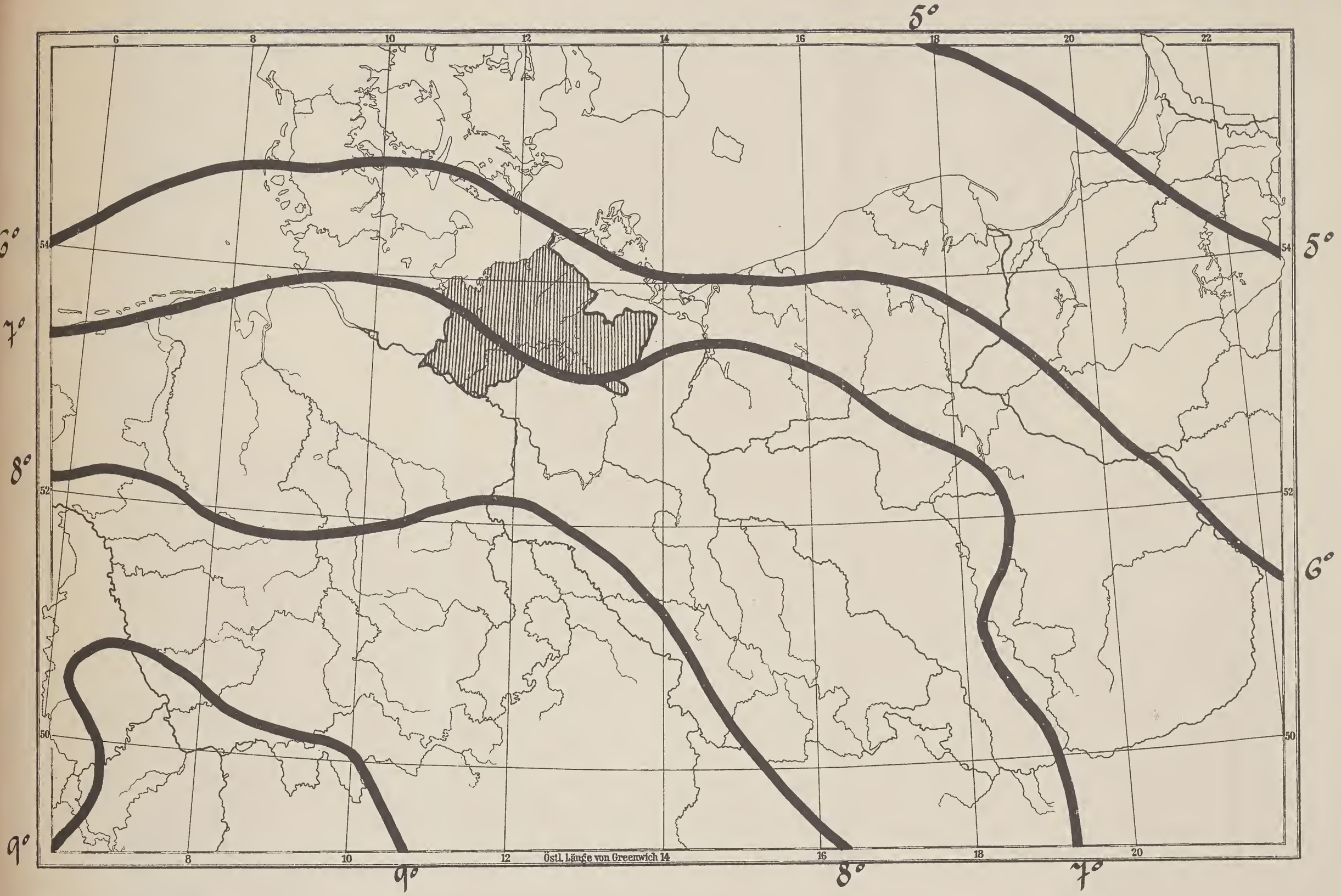
1-1900.

Tafel 10.



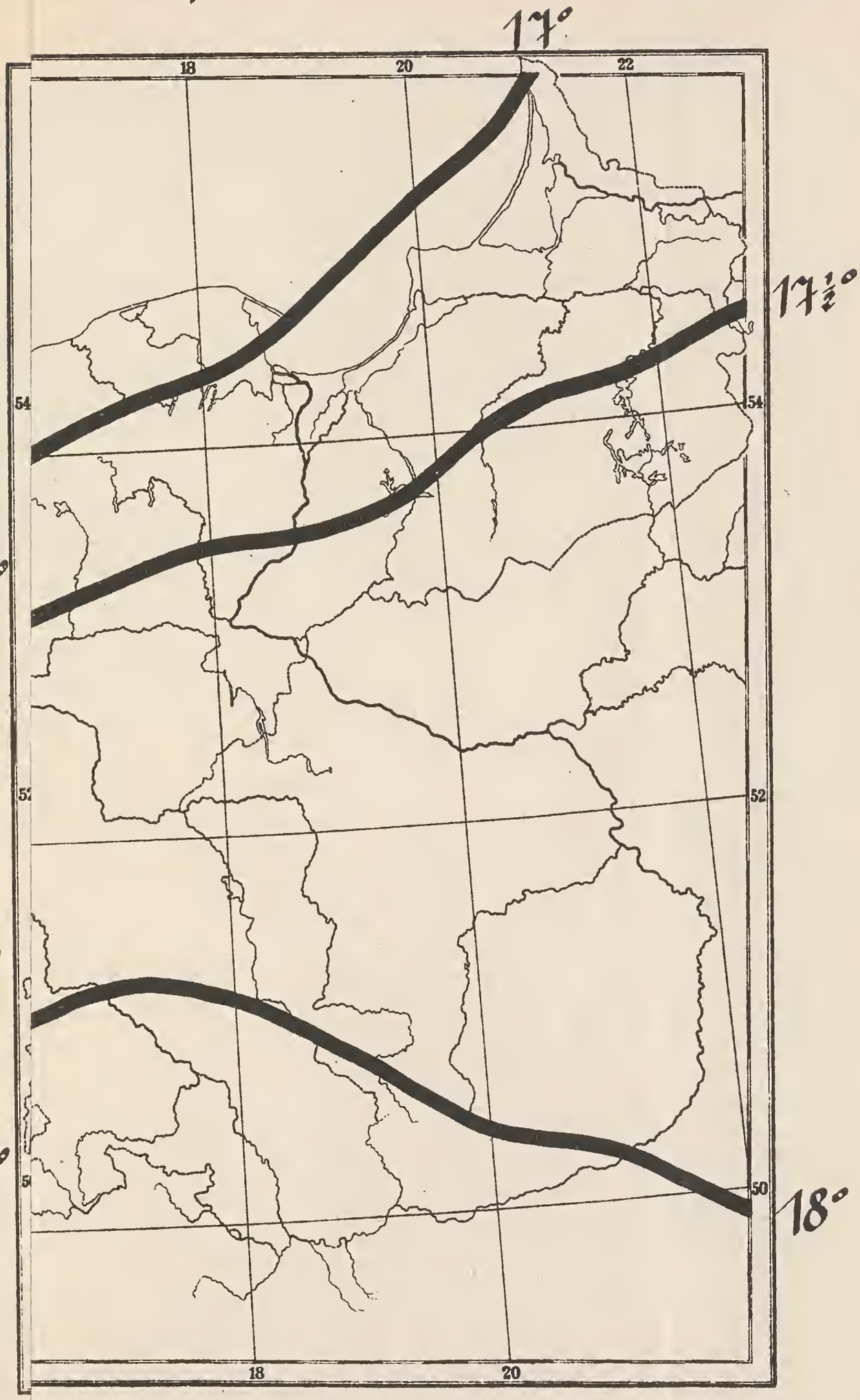
Isothermen des April 1851–1900.

Tafel 10.



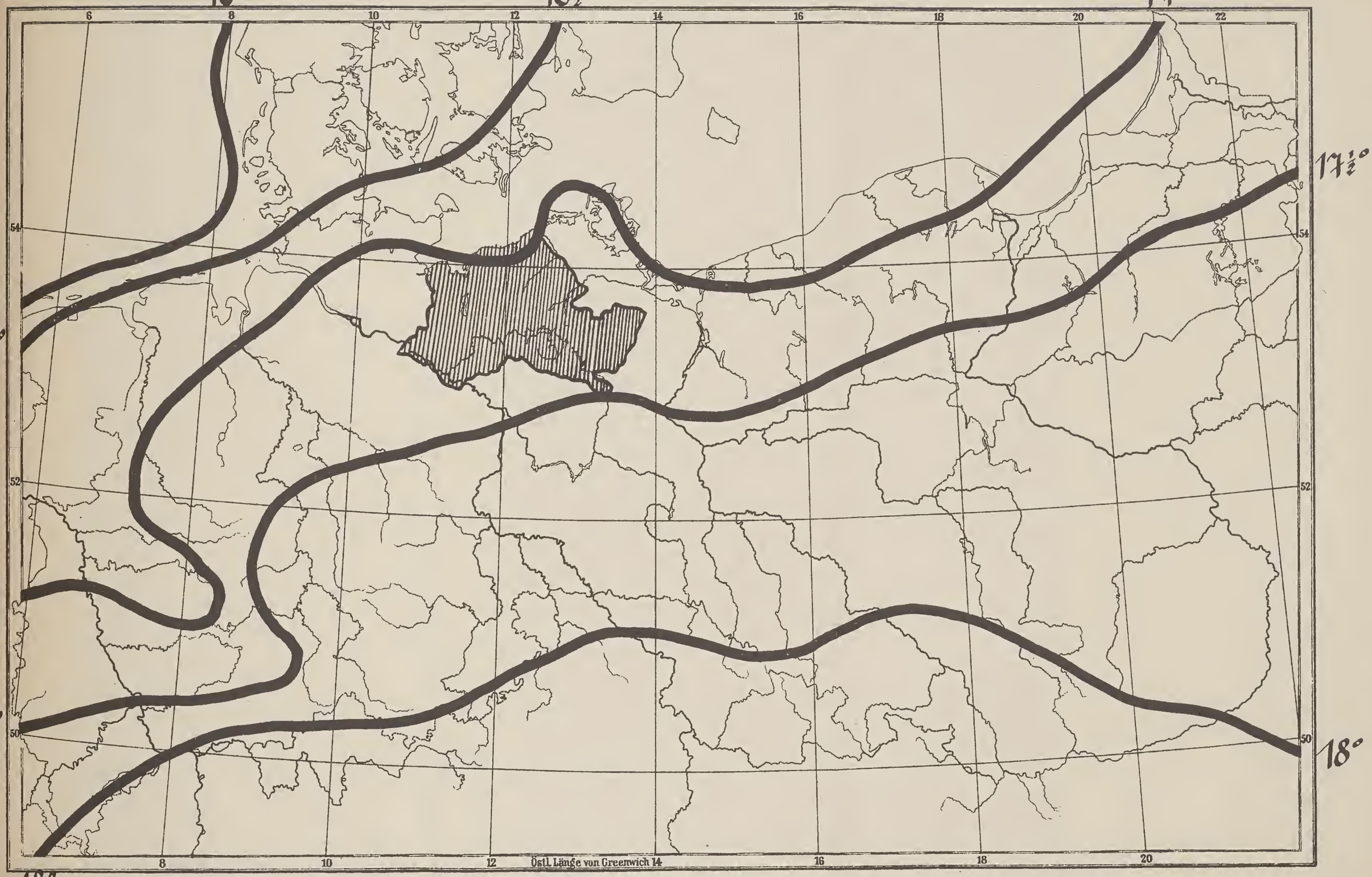
51-1900.

Tafel 11.



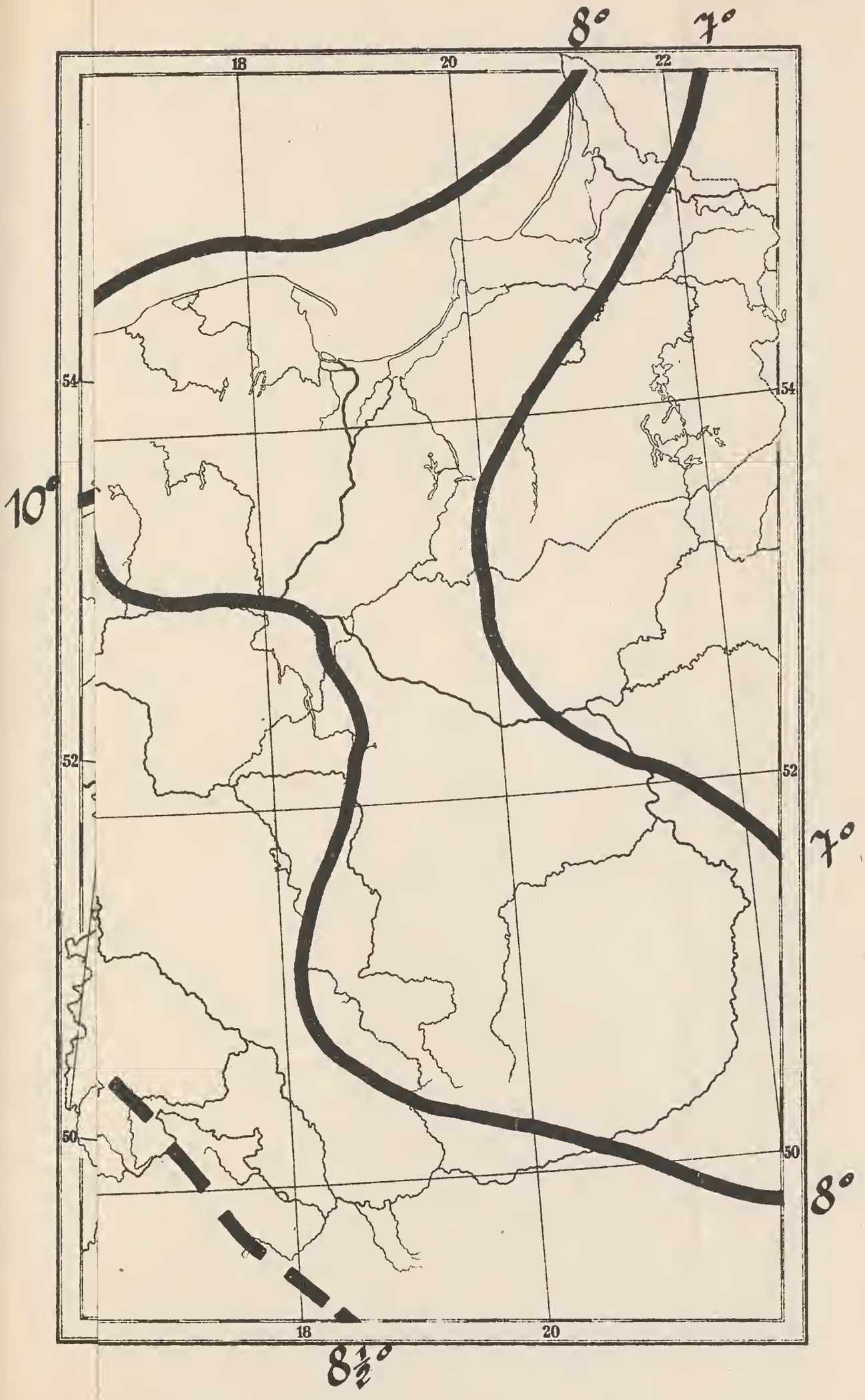
Isothermen des Juli 1851-1900.

Tafel 11.



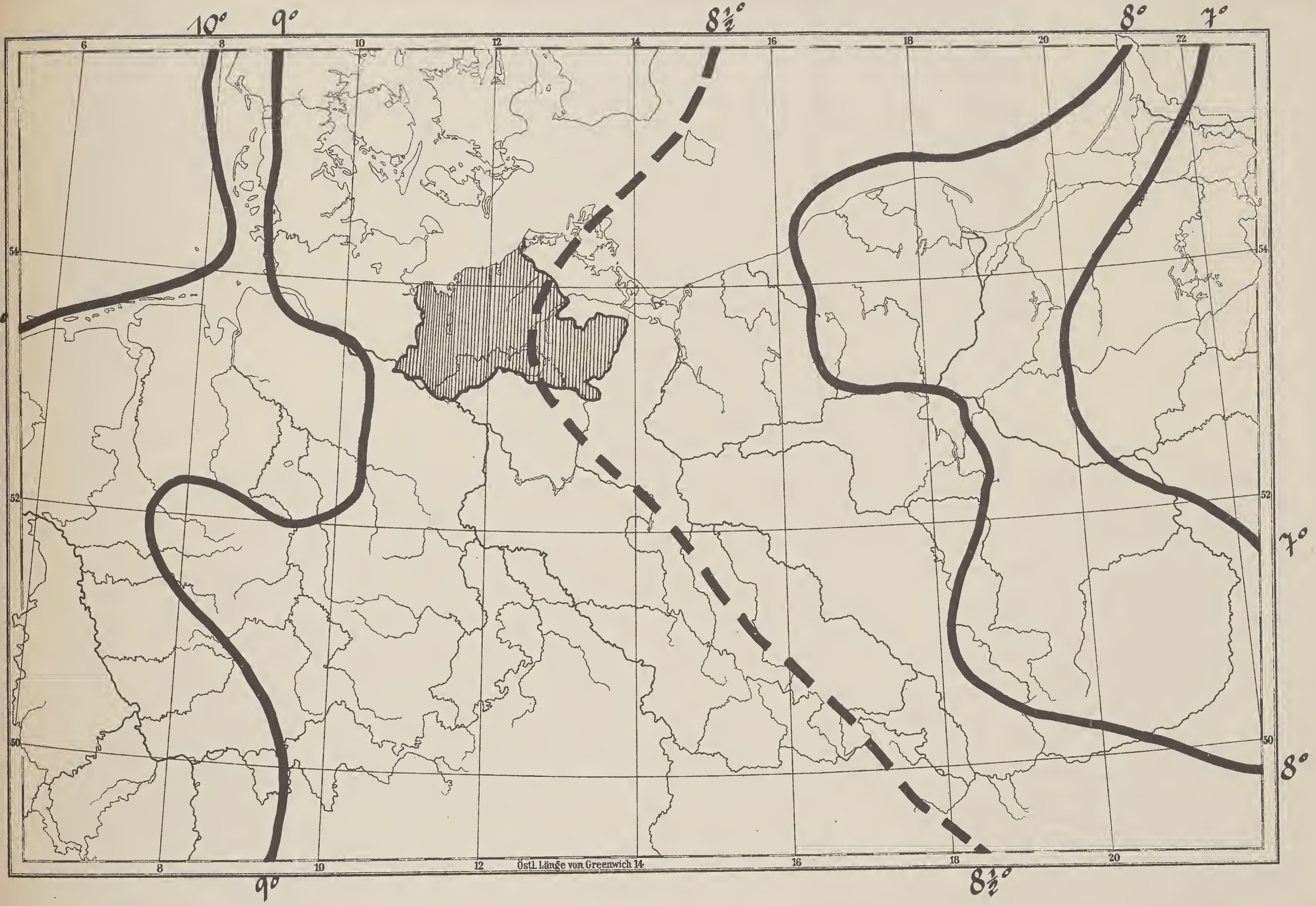
51-1900.

Tafel 12.



Isothermen im Oktober 1851–1900.

Tafel 12.



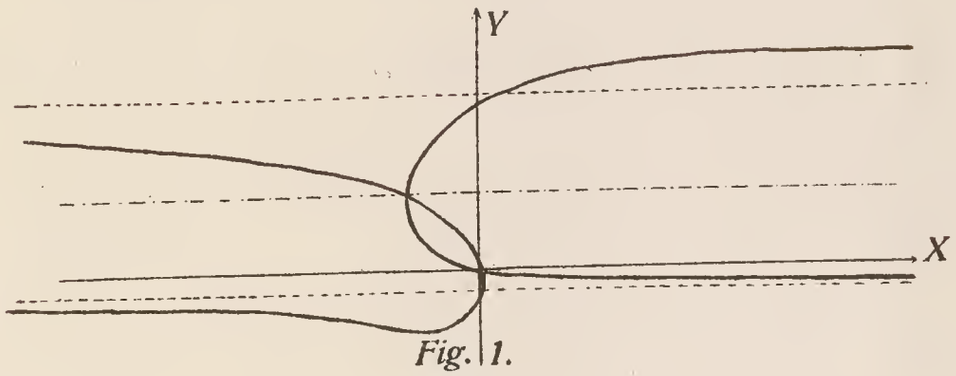


Fig. 1.

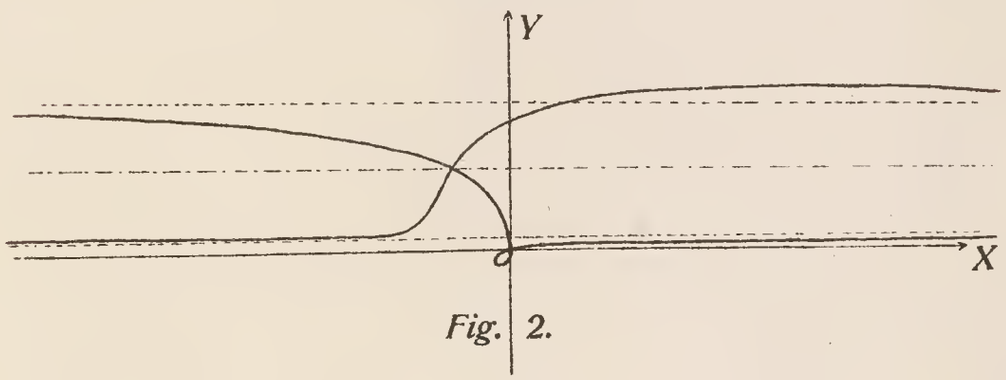


Fig. 2.

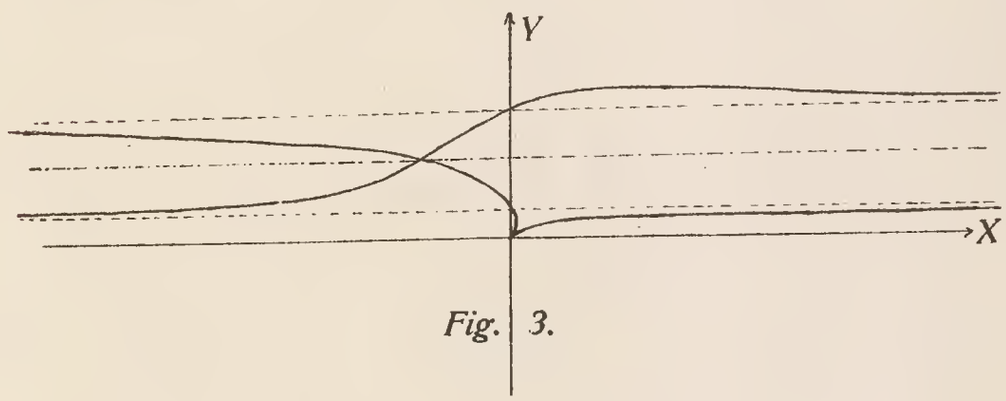


Fig. 3.

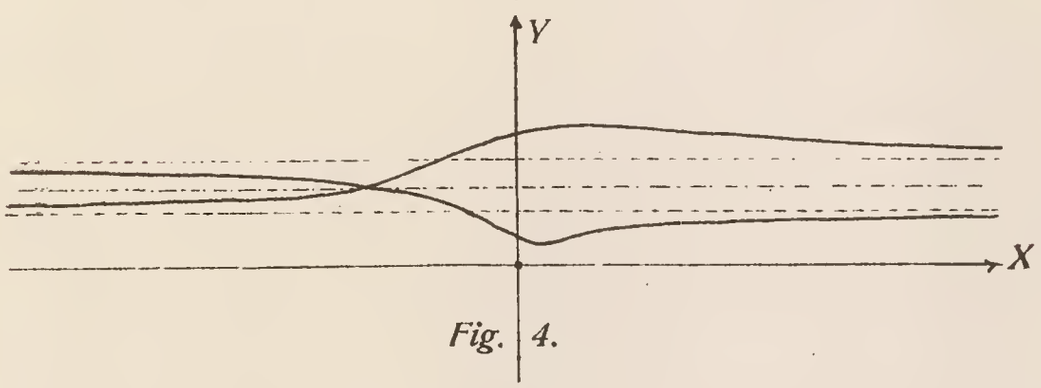


Fig. 4.

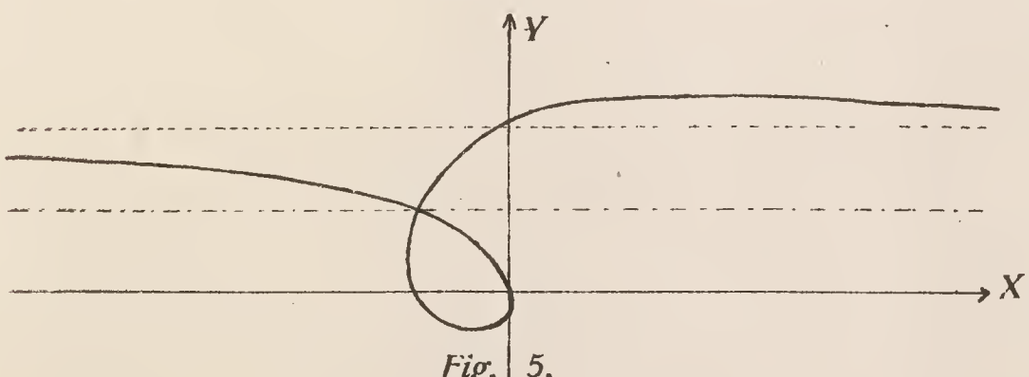


Fig. 5.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

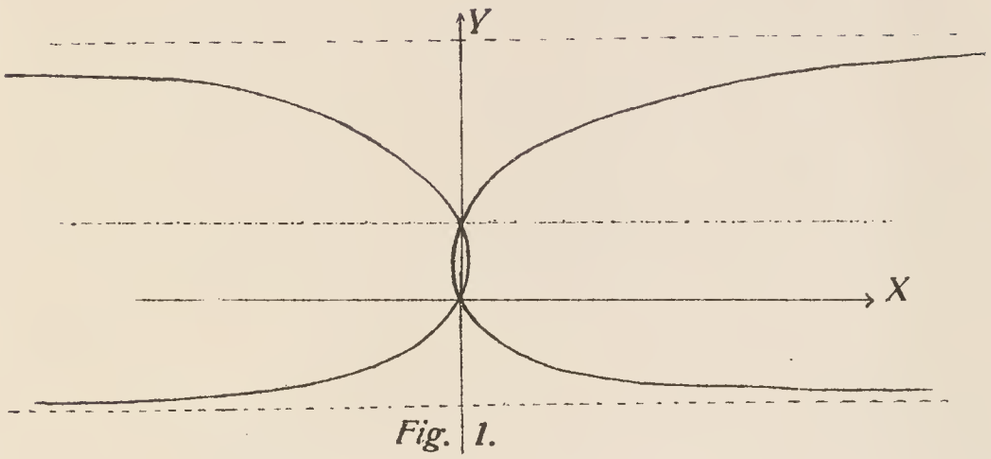


Fig. 1.

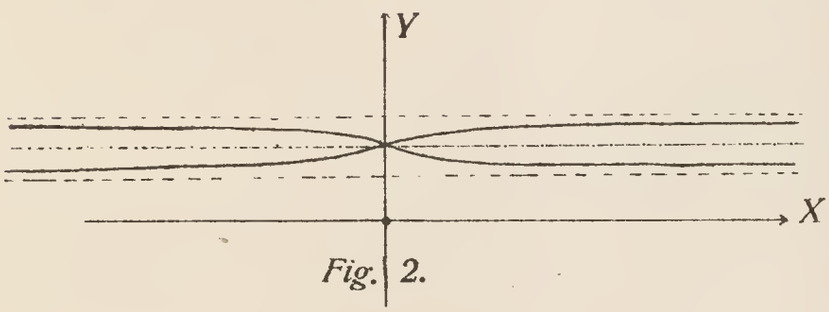


Fig. 2.

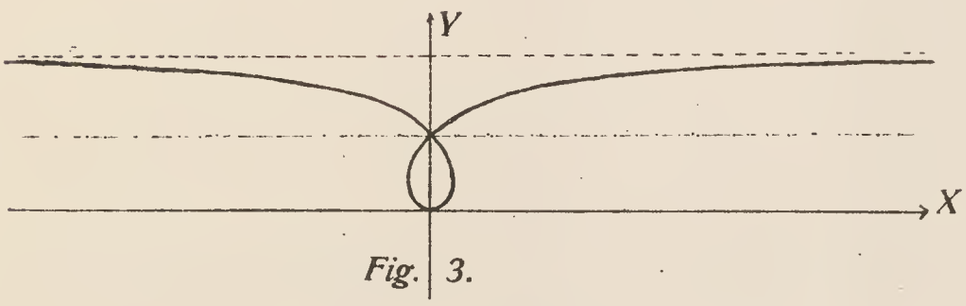


Fig. 3.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

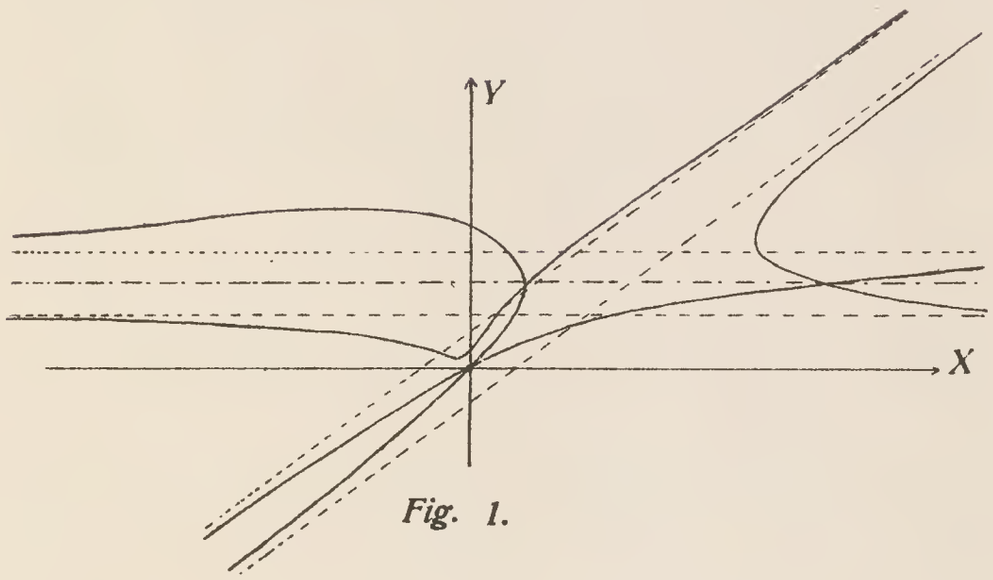


Fig. 1.

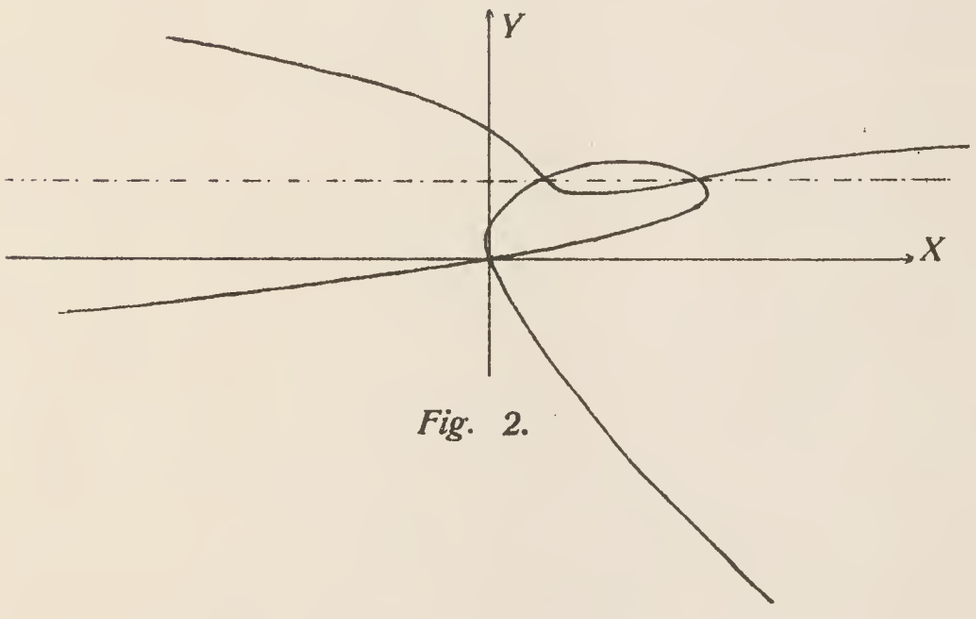


Fig. 2.

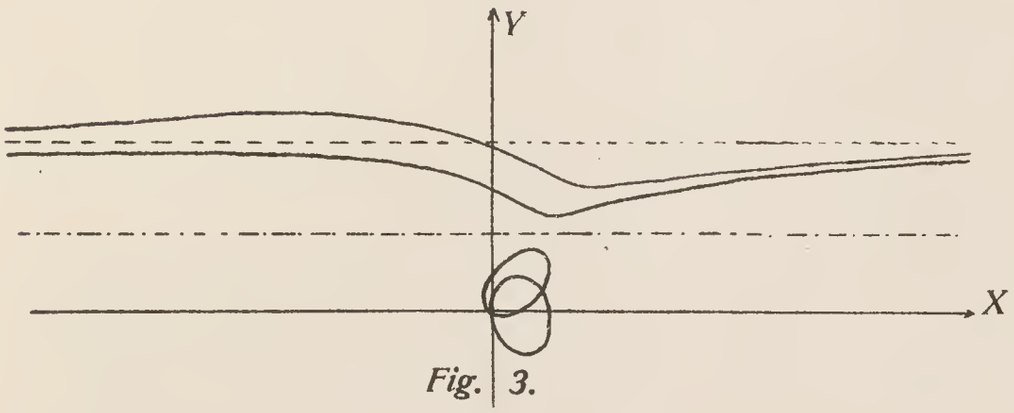


Fig. 3.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

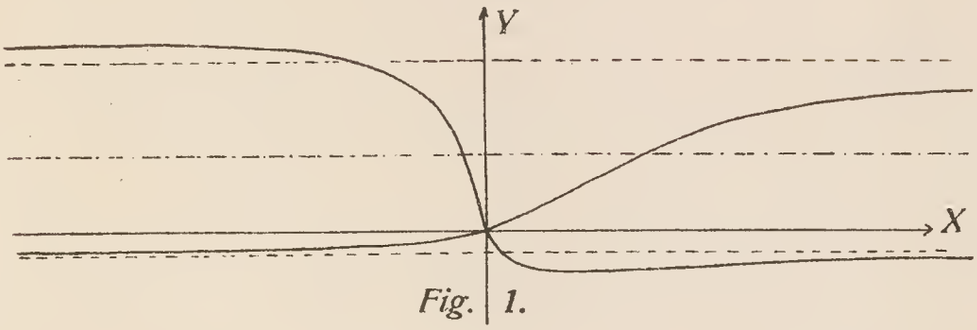


Fig. 1.

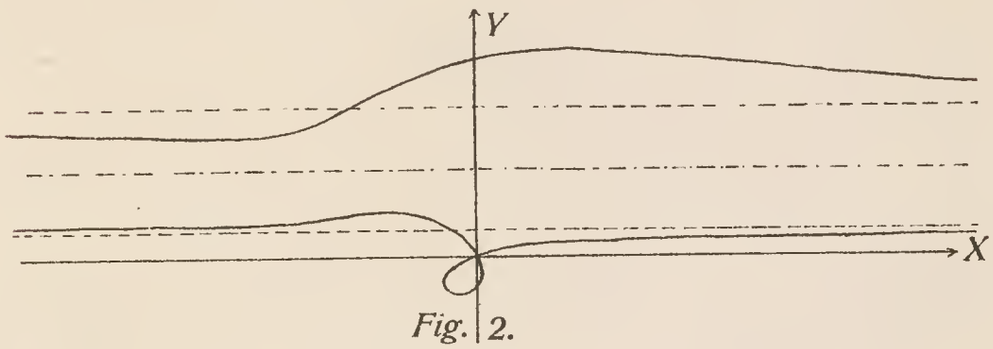


Fig. 2.

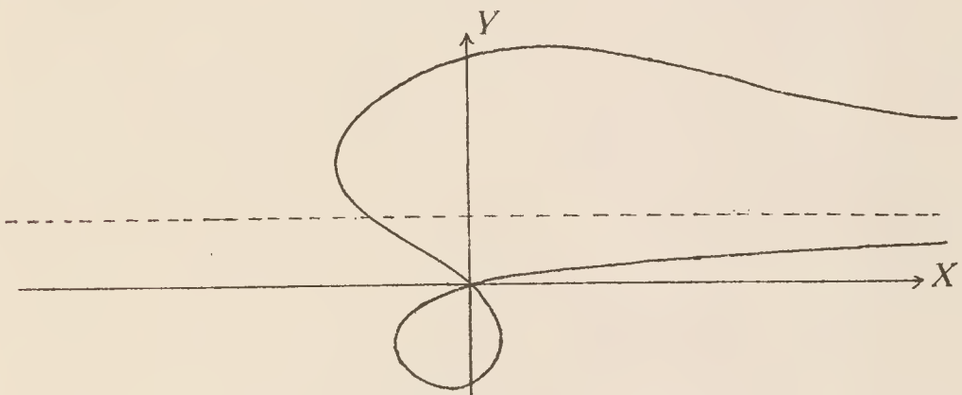


Fig. 3.

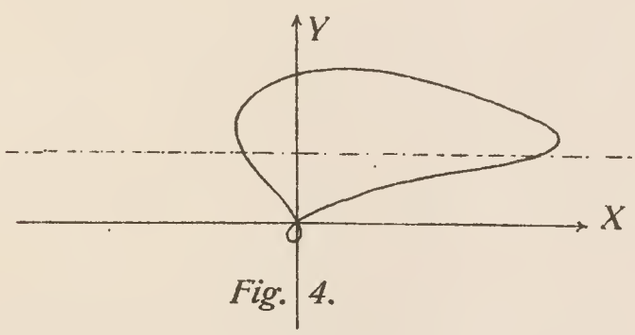


Fig. 4.

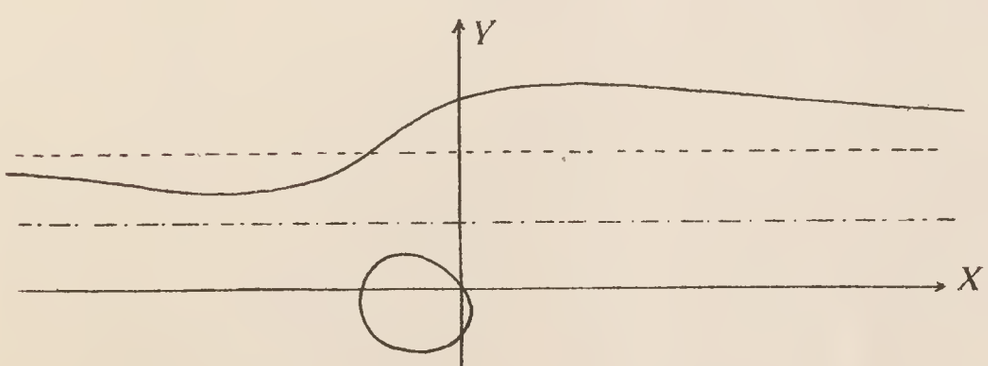


Fig. 5.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

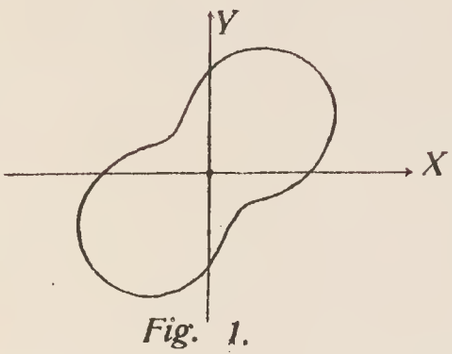


Fig. 1.

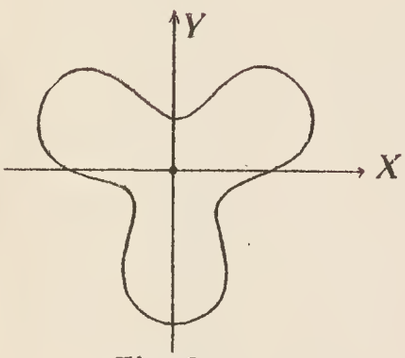


Fig. 2.

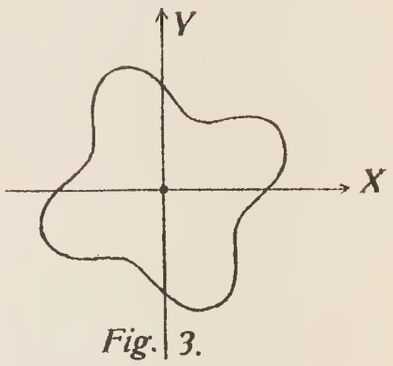


Fig. 3.

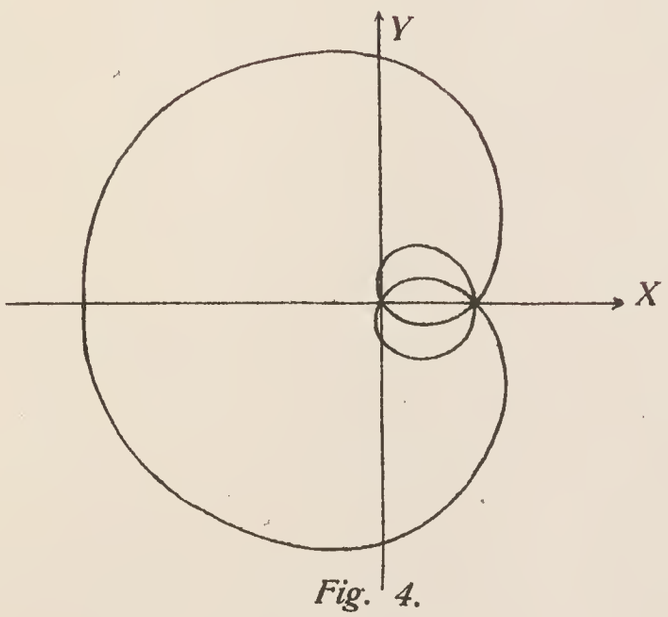


Fig. 4.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

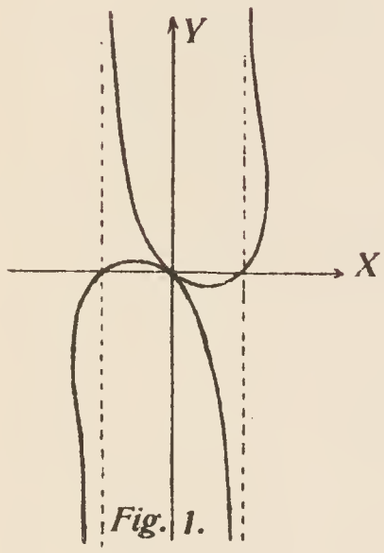


Fig. 1.

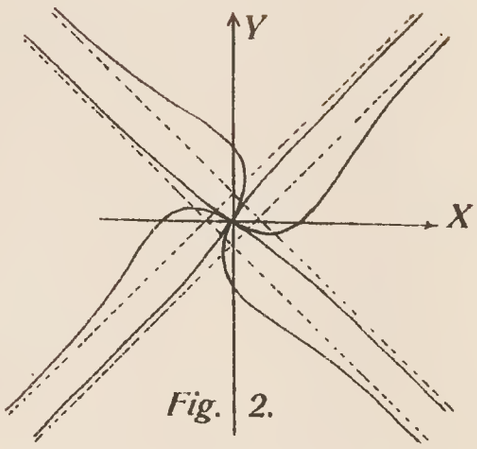


Fig. 2.

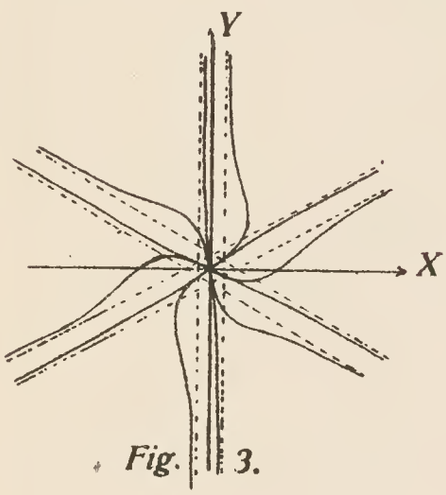


Fig. 3.

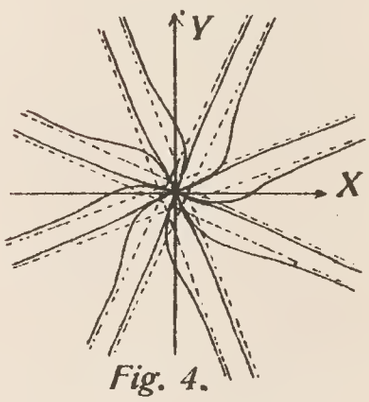


Fig. 4.

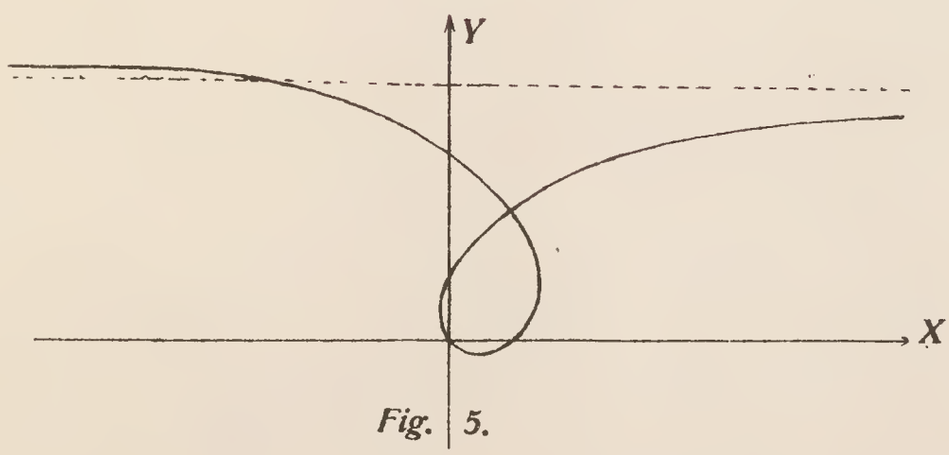


Fig. 5.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

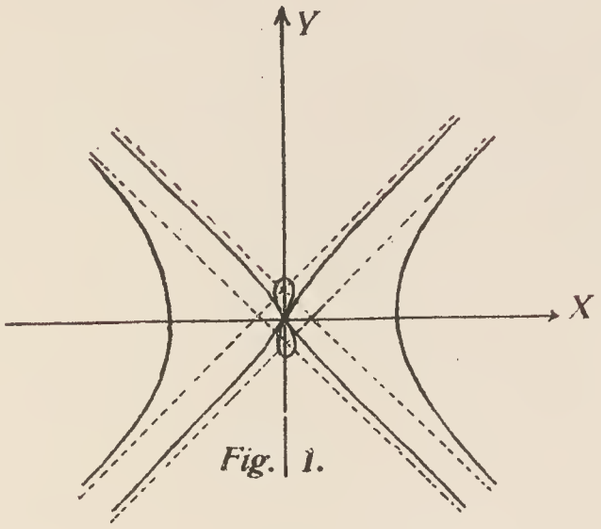


Fig. 1.

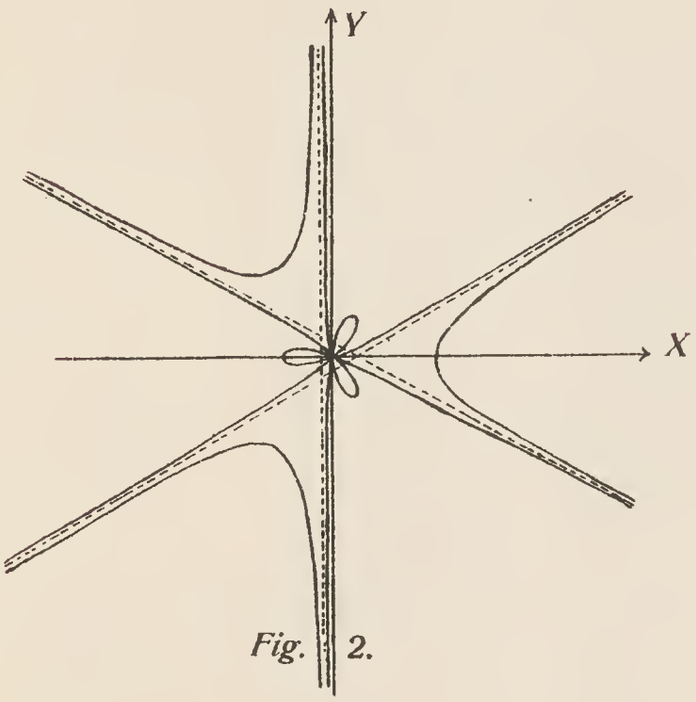


Fig. 2.

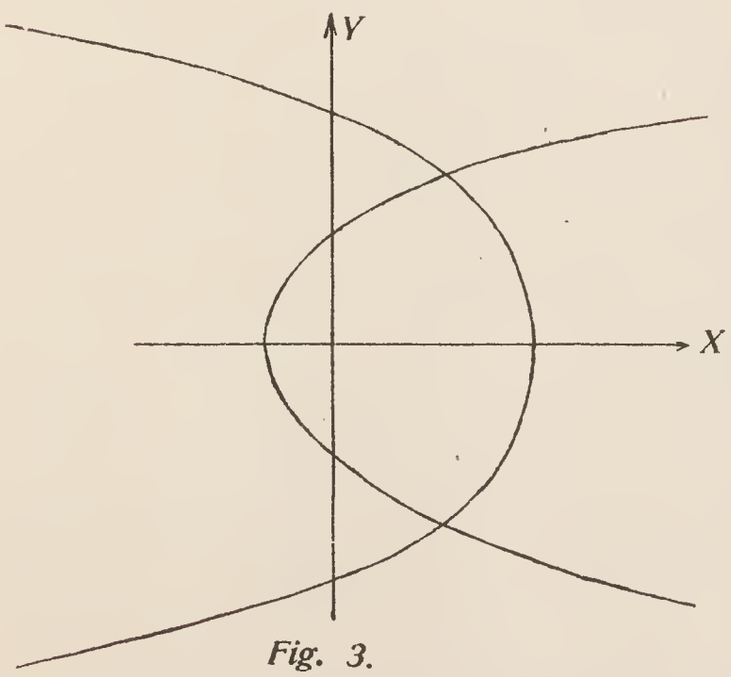


Fig. 3.

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.

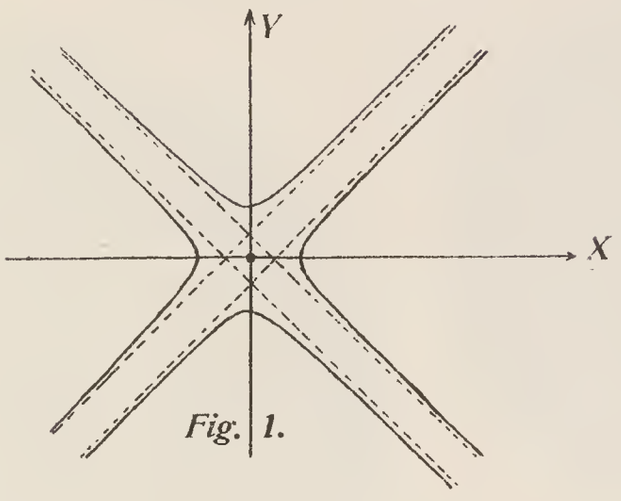


Fig. 1.

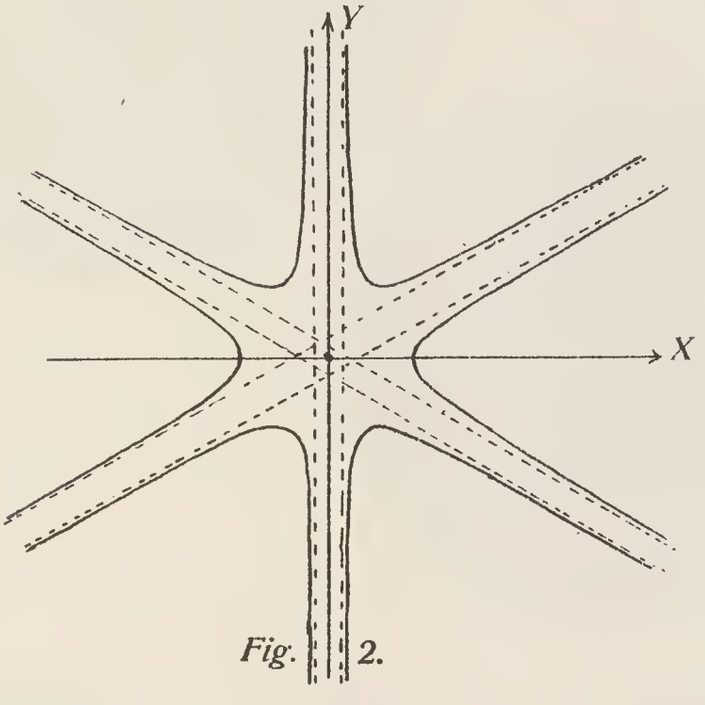


Fig. 2.

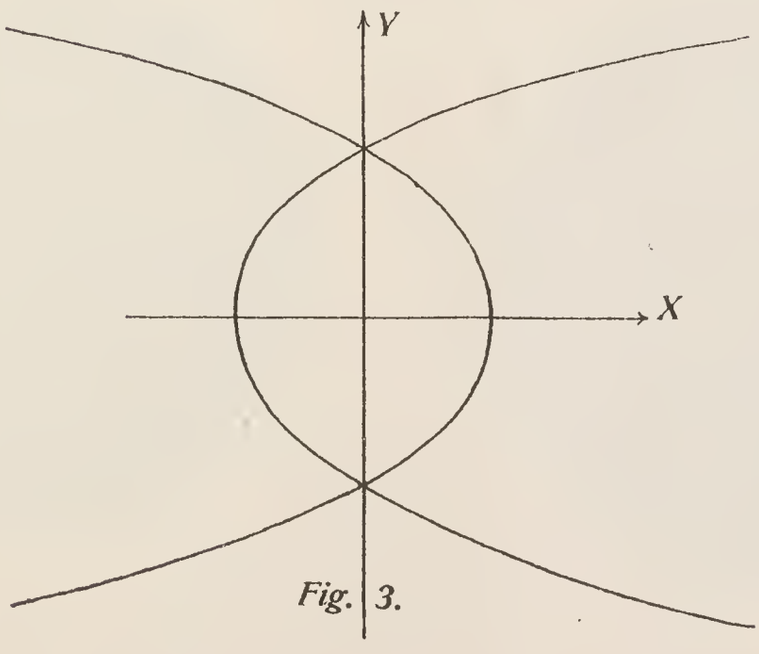
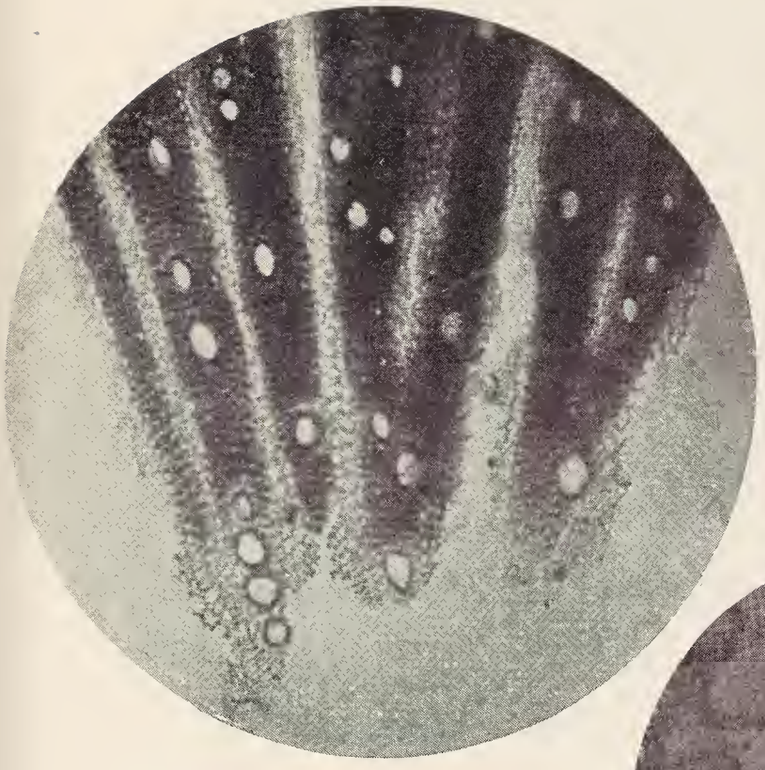
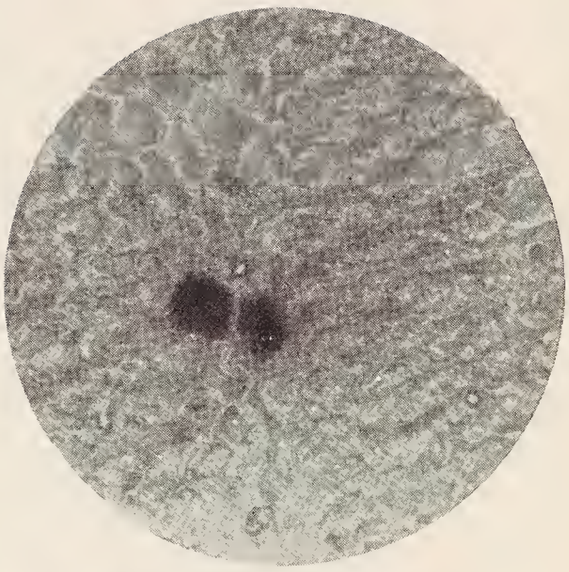


Fig. 3.

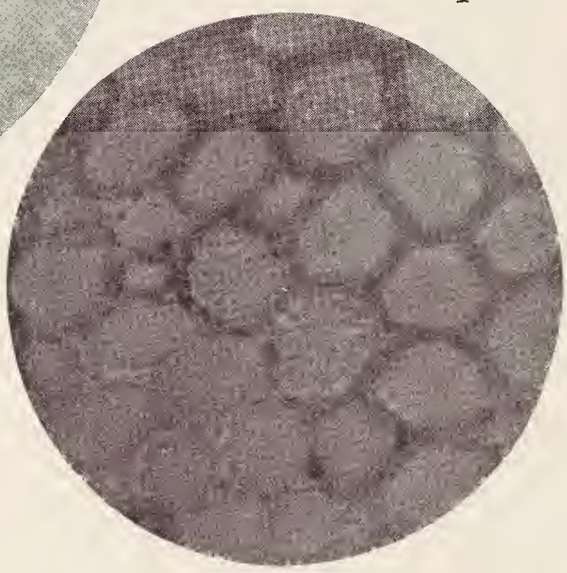
Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.



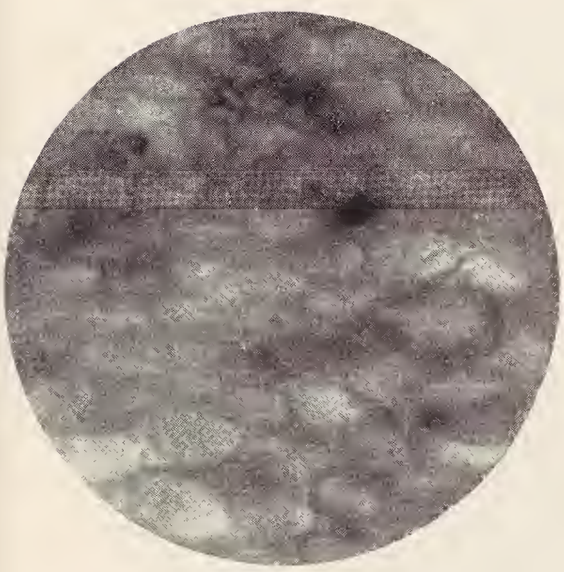
3



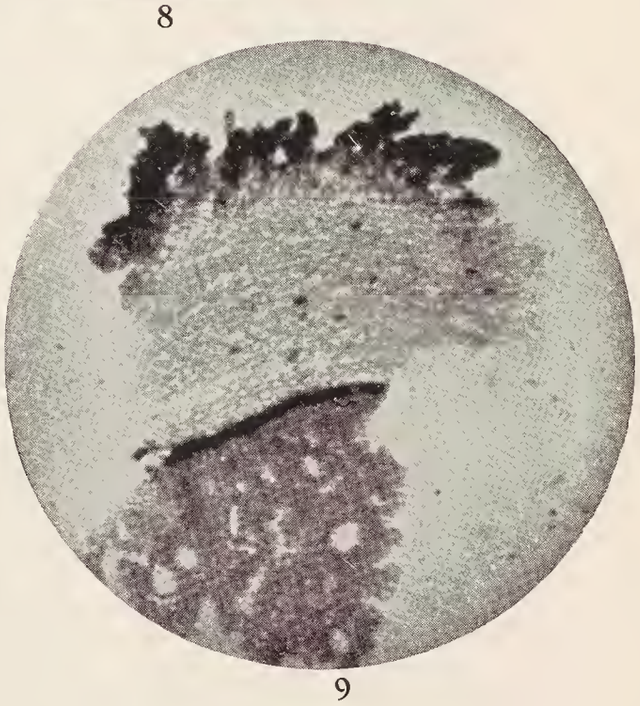
4



8



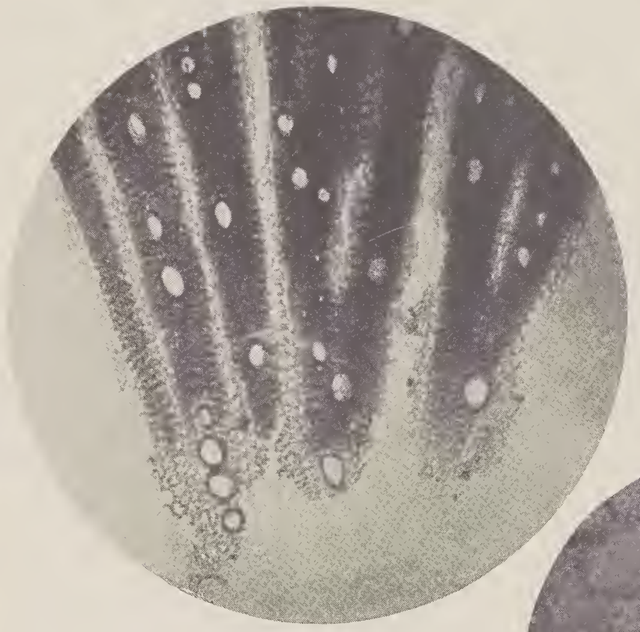
7



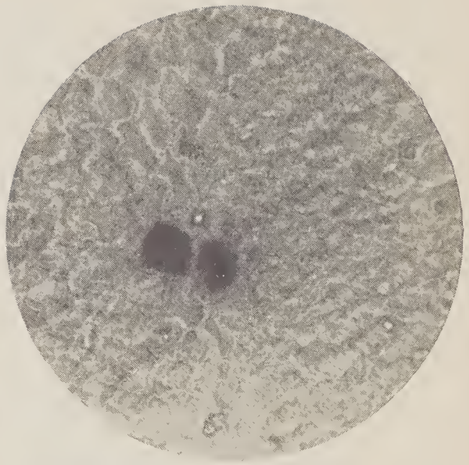
9

1

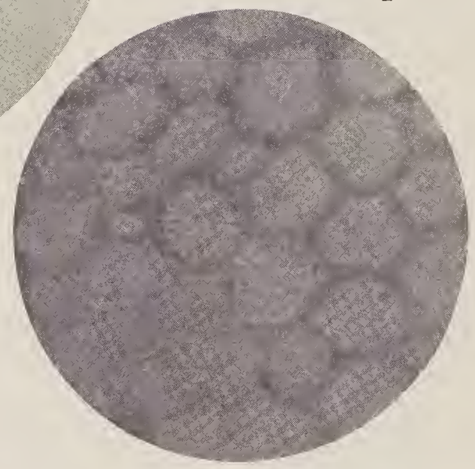
2



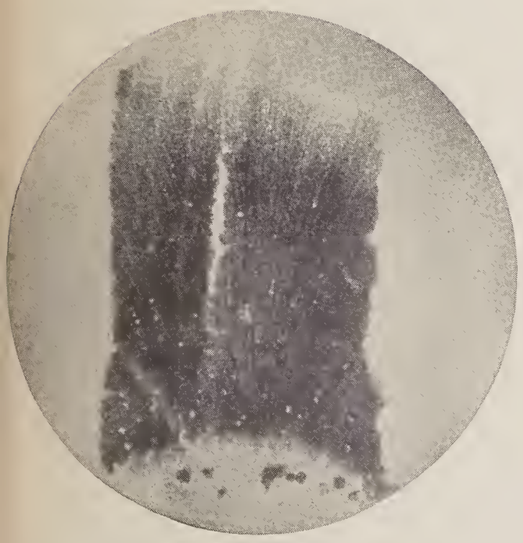
3



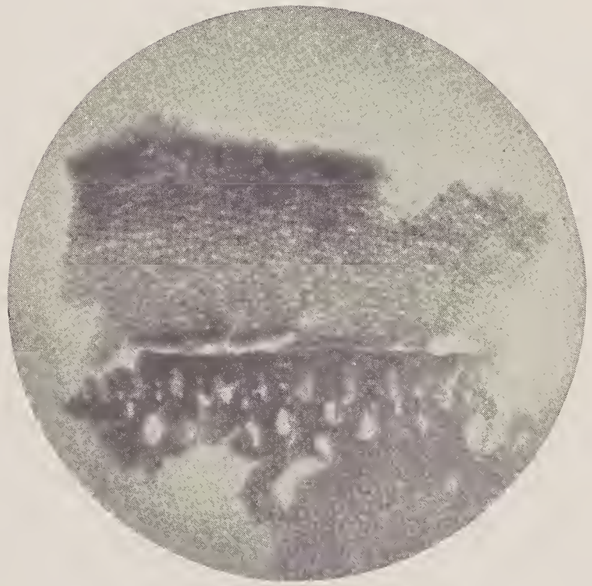
4



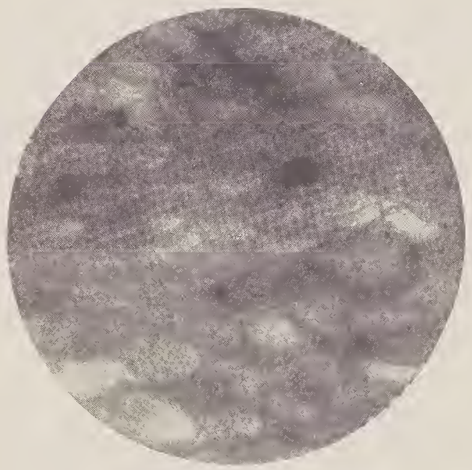
8



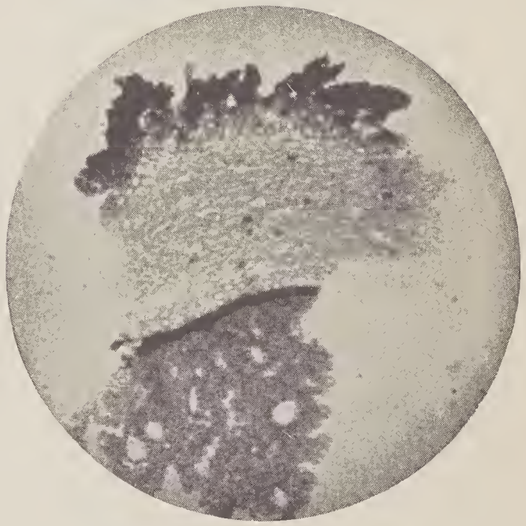
5



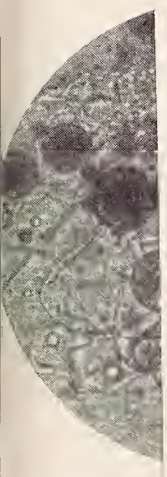
6



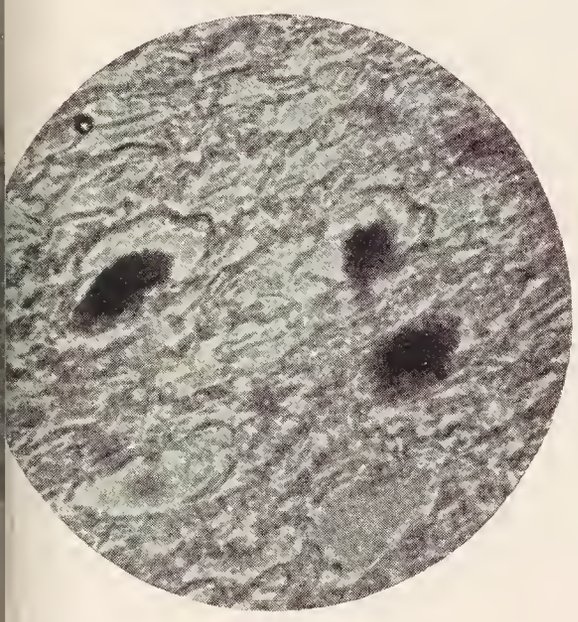
7



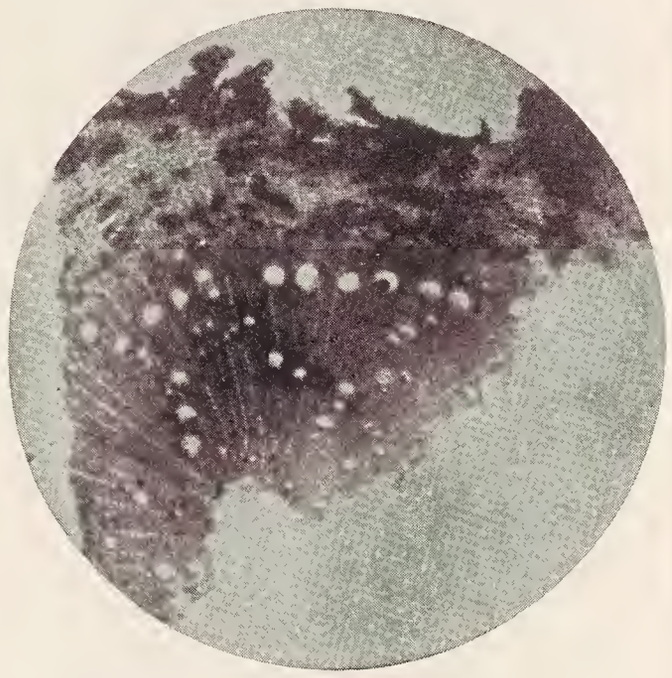
9



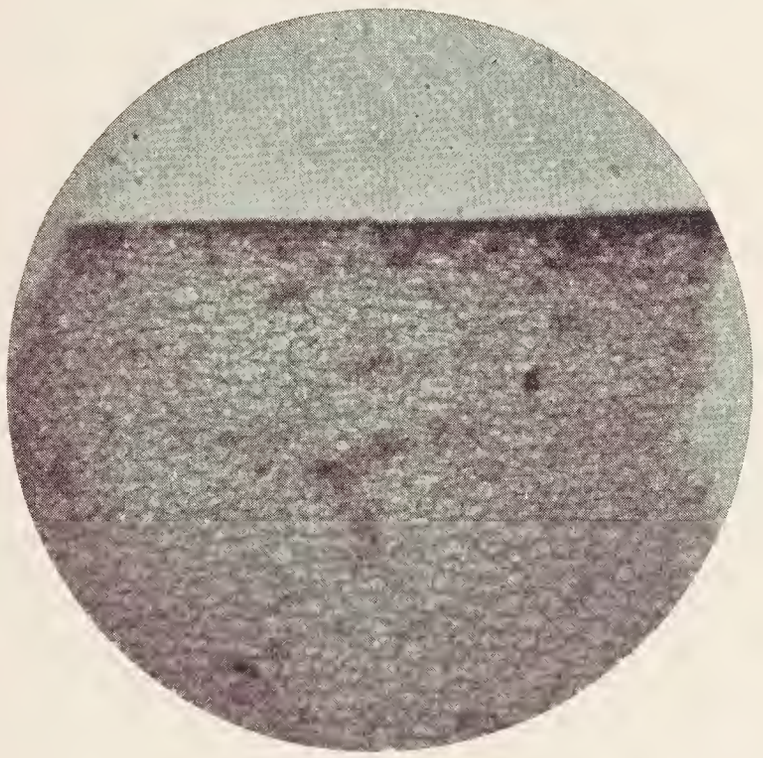
ertz, Düsseldorf.



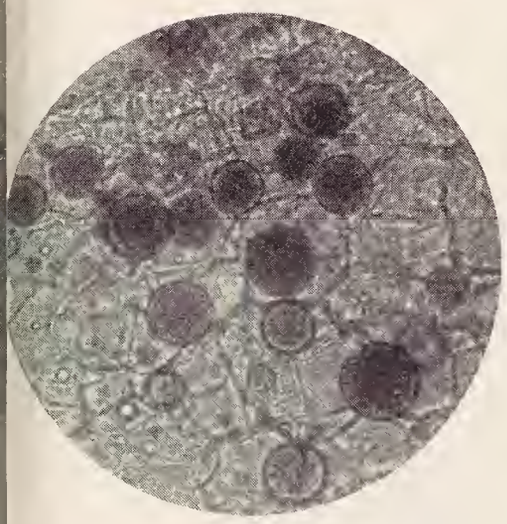
10



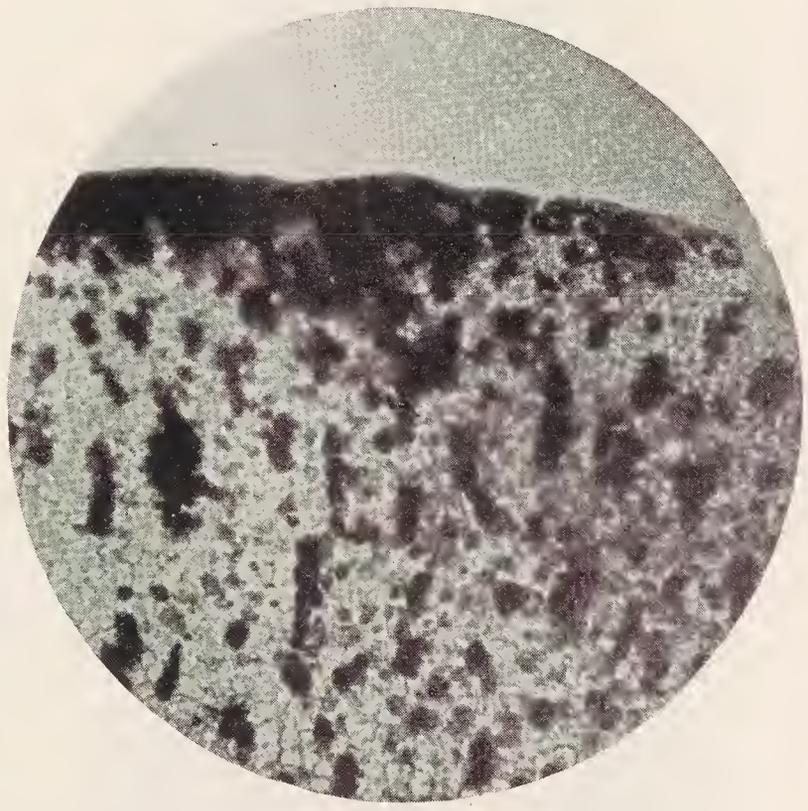
11



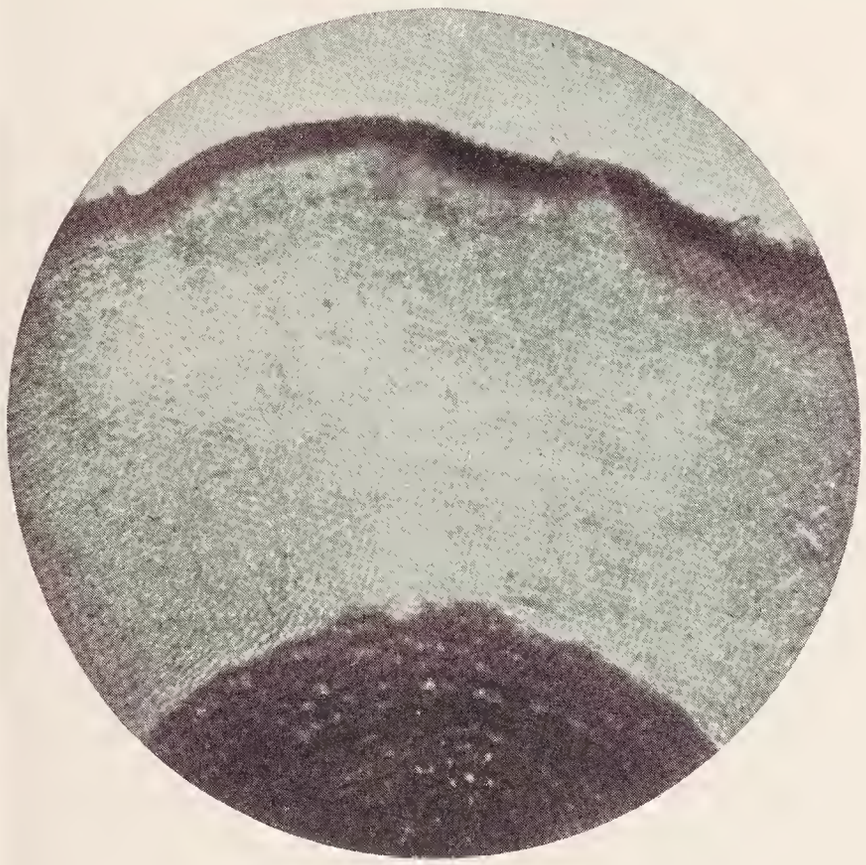
12



13

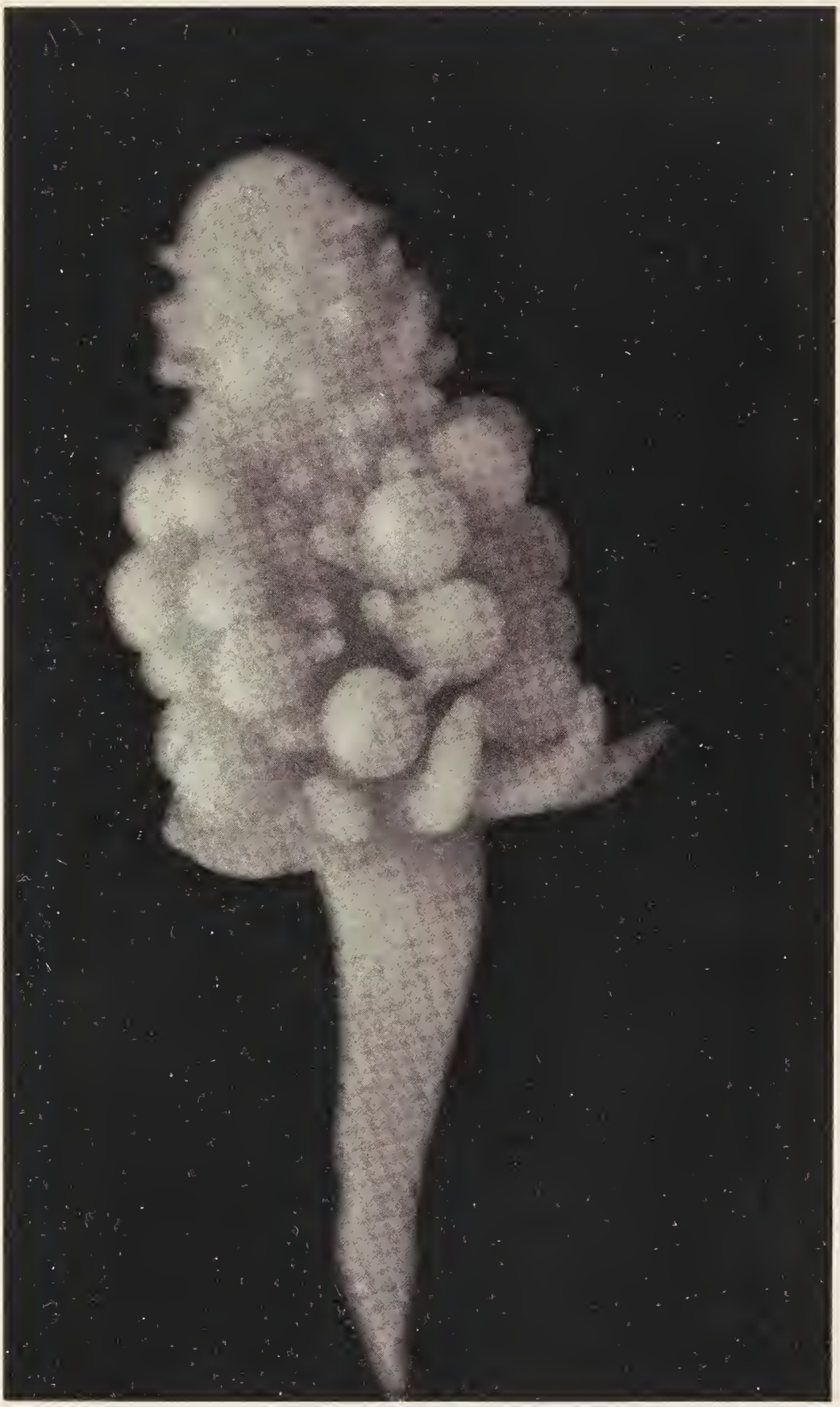


14

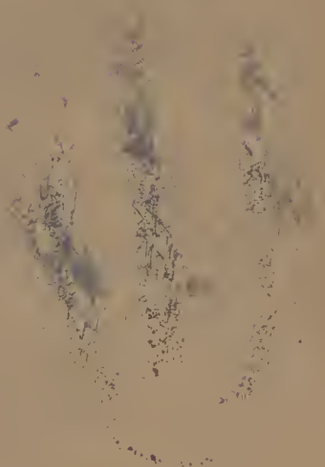


15

Pulchra-Druck von C. G. Blanckertz, Düsseldorf.



Acaulis primarius Stimps.



Ratsbuchdruckerei C. Michaal Güstrow

491680

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01355 4092